

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК _621.314 : 621.3.011 _

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ Ю.С. Ямненко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності _____ 171 Електроніка
(код і назва)

спеціалізації _____ Електронні компоненти і системи

на тему: Керування енергоспоживанням локального об'єкту з розподіленою
генерацією енергії

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ДС-71мп
(шифр групи)

_____ Семенюк Андрій Олегович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник зав. каф.ПЕ, д.т.н , проф. Ямненко Ю.С. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доц. каф. ЕІ, к.т.н. Іванько К.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра промислової електроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо - професійною програмою

Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

Спеціалізація Електронні компоненти і системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) Ю.С. Ямненко
(прізвище ініціали)

« ____ » _____ 2018 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Семенюку Андрію Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Керування енергоспоживанням локального об'єкту з розподіленою генерацією енергії.....

науковий керівник дисертації Ямненко Юлія Сергіївна, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 07 » листопада 2018 року № 4114-с

2. Строк подання студентом дисертації 07 грудня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження Процеси генерації та споживання електричної енергії у локальному об'єкті .

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Розробка методу прогнозування споживання електричної енергії.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Огляд та порівняння методів прогнозування електроспоживання локального об'єкту. 2) Обрати метод і розробити алгоритм для мікроконтролера, що здійснюватиме керування. 3) Розробити схему демонстраційного макету .

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Схема електрична структурна; Схема електрична функціональна; Схема електрична принципова; Теоретичні креслення.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1. Семенюк А.О., Скрипник Д.В. Особливості роботи з даними в системі діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2018. № 29. 2. Діденко В. О. Бондаренко О. Ф., Семенюк А. О. Алгоритм обробки даних з давачів в системі діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора [Електронний ресурс] / Матеріали XIV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2018. 3. Семенюк А.О., Крамаренко С.В. Макет системи контролю електроживлення локального об'єкту з розподіленими джерелами / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Новітні технології сучасного суспільства" (НТСС-2018); м. Чернігів 12 грудня 2018 .

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видала	завдання прийняла

9. Дата видачі завдання 25.10.2018

1 КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строки виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз існуючих технічних рішень	10.09 – 12.10	виконано
2.	Розробка системи прогнозування	13.10 – 20.10	виконано
3.	Розробка програмного забезпечення	13.10 - 15.11	виконано
4.	Розробка системи керування	16.11 – 23.11	виконано
5.	Розробка принципової схеми макету	24.11 – 26.11	виконано
6.	Створення макету	27.11 – 30.11	виконано
7.	Розробка схеми електричної структурної	1.12 – 3.12	виконано
8.	Конструкторсько-технологічний розділ	4.12 – 7.12	виконано

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

У магістерській дисертації описано розробку системи керування електроспоживанням локального об'єкту, енергоефективність якої досягається за рахунок прогнозування споживання на базі дискретного вейвлет-аналізу.

Дослідний макет системи керування імітує приватний будинок, в якому розміщені спрощені фізичні моделі основних електроприладів. Алгоритм прогнозування і керування створений у середовищі MatLab та за допомогою спеціального пакету розширення імпортується напряму в мікроконтролер Arduino. Наукова новизна отриманих результатів полягає у використанні дискретного вейвлет-перетворення Хаара з метою прогнозування споживання електричної енергії і керування живленням на основі цього прогнозу. Дослідження має практичне значення, його результати можуть бути використані в розробці подібних систем для подальшого їх використання в побуті і промисловості задля реалізації заходів енергозбереження та енергоефективності.

Ключові слова: локальний об'єкт, відновлювані джерела енергії, ВДЕ, розподілена генерація, віртуальна електростанція, MicroGrid, дискретне вейвлет-перетворення Хаара, прогнозування споживання електроенергії, енергоефективність.

АННОТАЦИЯ

В магистерской диссертации описана разработка системы управления электропотреблением локального объекта, энергоэффективность которой достигается за счет прогнозирования потребления на базе дискретного вейвлет-анализа.

Экспериментальный макет системы управления имитирует частный дом, в котором размещены упрощенные физические модели основных электроприборов. Алгоритм прогнозирования и управления создан в среде MatLab и с помощью специального пакета расширения импортируется напрямую в микроконтроллер Arduino. Научная новизна полученных результатов заключается в использовании дискретного вейвлет-преобразования Хаара с целью прогнозирования потребления электроэнергии и управления питанием на основе этого прогноза. Исследование имеет практическое значение, его результаты могут быть использованы в разработке подобных систем для дальнейшего их использования в быту и промышленности для реализации мероприятий энергосбережения и энергоэффективности.

Ключевые слова: локальный объект, возобновляемые источники энергии, распределенная генерация, виртуальная электростанция, MicroGrid, дискретное вейвлет-преобразование Хаара, прогнозирование потребления электроэнергии, энергоэффективность.

SUMMARY

The Master thesis describes the development of a system for controlling the consumption of a local object, the energy efficiency of which is achieved through the prediction of consumption on the basis of discrete wavelet analysis.

The experimental layout of the control system imitates a private house, which contains simplified physical models of major electrical appliances. The prediction and management algorithm was created in MatLab environment and via the special expansion pack was imported directly into the Arduino microcontroller. The scientific novelty of the results obtained is the use Haar discrete wavelet transform to predict the consumption of electrical energy and power consumption control based on this forecast. The research has a practical value, its results can be used in the development of similar systems for their further use in the home and industry in order to implement energy conservation and energy efficiency measures.

Keywords: local object, renewable energy sources, distributed generation, virtual power plant, MicroGrid, discrete Haar wavelet transform, forecasting of electricity consumption, energy efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
Розділ 1.ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	13
1.1. Огляд систем розподіленої генерації енергії.....	13
1.2. Огляд методів керування і прогнозування в системах розподіленої генерації.....	22
1.2.1 Електротехнічна реалізація.....	27
1.2.2 Існуючі системи.....	28
Висновки до першого розділу.....	36
Розділ 2. КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ В ЛОКАЛЬНИХ ОБ’ЄКТАХ ТА МІКРОМЕРЕЖАХ.....	37
2.1.Прогнозування енергоспоживання та методи його реалізації.....	37
2.2. Аналіз сигналів за допомогою вейвлет-перетворень.....	45
2.3. Метод керування електроспоживанням і його прогнозування за допомогою дискретного Вейвлет-перетворення Хаара.....	50
Висновки до другого розділу	58
Розділ 3. РОЗРОБКА МАКЕТУ ЛОКАЛЬНОГО ОБ’ЄКТУ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ.....	59
3.1. Розробка алгоритму вейвлет-перетворення для схеми експериментального макету.....	59
3.2. Розробка принципової схеми.....	66
Висновки до третього розділу.....	72
Розділ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	73
4.1. Етапи розробки стартап-проекту.....	73
4.2. Опис ідеї проекту.....	75
4.3. Технологічний аудит ідеї проекту.....	76
4.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	77
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	80
Висновки до четвертого розділу.....,	82

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТКИ.....	92
ABSTRACT.....	95

ВСТУП

Актуальність. Початок другого тисячоліття ознаменувався для людства появою доказів того, що глобальне потепління не є вигадкою науковців і «злих язиків», а очевидним фактом. В серпні 2018 всі кияни, а також жителі Чернігова і Львова змогли відчутти на собі наслідки справжніх тропічних злив, які ніколи раніше не були характерними для наших країв.

Як відомо, глобальне потепління, а саме підвищення середньої температури над поверхнею землі, яке вже склало за різними даними від 0,5 до 1 градуса Цельсія від початку індустріальної епохи, спричиняється підвищенням концентрації парникових газів у атмосфері. Сам по собі парниковий ефект досить корисна річ, оскільки, без нього температура поверхні Землі була б у середньому на 33 градуси нижчою і становила -18°C [1] і навряд життя б існувало в такому вигляді, якому ми знаємо його. Однак, діяльність людини суттєво впливає на природний стан речей і виводить їх з рівноваги [2] [3].

Анти-рейтинг основних продуцентів парникових газів [4] :

- вуглецева теплоенергетика - 25%;
- сільське, лісове господарства та інші види землекористування - 24%;
- промисловість - 21%;
- транспорт – 14%;
- будівництво – 6,4%;
- інше – 9,6%.

Загалом - 30000 тон CO_2 щохвилини без урахування інших газів.

8 жовтня у Південній Кореї провідні науковці світу представили звіт [5], згідно з яким людство зараз знаходиться на траєкторії у $3 - 4^{\circ}\text{C}$ до 2050 року, тому необхідно значно інтенсифікувати розробку і впровадження комплексу заходів по збереженню глобального потепління на рівні у $1,5^{\circ}\text{C}$ на державних рівнях всіх урядів. В іншому випадку, кількість кліматичних

біженців уже в 2030 році складе 400 мільйонів осіб [5] і значні території суші будуть затоплені, а клімат на планеті повністю зміниться. Найбільш перспективними заходами, зокрема, є:

- Повна відмова від викопних вуглецевих видів палива, окрім газу, який в мінімальних кількостях використовуватиметься на балансувальних електростанціях і перехід на поновлювані джерела енергії та екологічно-чисті види транспорту.

- Впровадження кругової економіки і нульових відходів, згідно з якою товари після вжитку багаторазово перероблюватимуться, що зменшить загальні викиди від промисловості і відмову від сміттєзвалищ. Відхід від парадигми споживацтва як такої.

- Мінімізація вирубок лісів та їх відновлення.
- Системи, що захоплюють викиди з підприємств і розщеплюють CO².
- Поглинання вуглекислого газу із атмосфери шляхом розведення водоростей, вирощуванням технічної коноплі тощо.
- Перехід на екологічні методи будівництва.
- Зменшення кількості тварин на фермах і пасовищних площ.

Станом на початок 2018 року, світові потужності поновних джерел енергії перевищили 1ТВт. Це коштувало 2,3 Трлн \$ інвестицій. Темпи нарощування нових потужностей зростають на 20-30% щороку і для 2017 року становили 51 ГВт [6].

Однак, характер енергії, виробленої з відновлюваних джерел, досить хаотичний і важко передбачуваний. Вдень виробіток може бути значно вищим за попит, а вночі генерація практично припиняється, адже відсутність сонячної радіації впливає не лише очевидним чином на СЕС, а і на вітри, які породжуються від різниці температур повітря біля поверхні землі або води, прогрітих сонцем, і на висоті. Тому для ефективного функціонування електромереж при повному переході на відновні джерела генерації, необхідна достатня кількість сховищ електроенергії і їх

раціональне використання. Це, в свою чергу, може досягатися скороченням загального споживання і ефективного керування ним. Саме цим визначається актуальність представленого дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою магістерської дисертації проводилася у відповідності до наукових напрямків кафедрою ПЕ КПІ ім.Ігоря Сікорського.

Мета і завдання досліджень. Створення системи, в якій функціонує алгоритм прогнозування і на його основі виконується керування потужністю електроживлення локального об'єкту з розподіленими джерелами генерації.

Конкретними завданнями дослідження є:

1. Огляд та порівняння методів прогнозування електроспоживання локального об'єкту;
2. Вибір методу керування і розробка алгоритму для мікроконтролера;
3. Розробка схеми демонстраційного макету.

Об'єктом дослідження є процеси генерації та споживання електричної енергії у локальному об'єкті.

Предметом дослідження є розробка методу прогнозування споживання електричної енергії.

Методи дослідження.

- Дискретне вейвлет-перетворення Хаара;
- Апаратна реалізація на базі мікроконтролера Arduino Mega;
- Середовище MatLab і пакет розширень для роботи з МК серії Arduino;
- Програма Fritzing для моделювання електричних схем;

Наукова новизна отриманих результатів полягає у використанні дискретного вейвлет-перетворення Хаара з метою прогнозування споживання електричної енергії і керування живленням на основі цього прогнозу.

Практичне значення отриманих результатів. Дослідження має практичне значення, його результати можуть бути використані в розробці подібних систем для подальшого їх використання в побуті і промисловості, на

будь-яких типах локальних об'єктів задля скорочення споживання електроенергії.

Апробація результатів дослідження. Результати дисертаційних досліджень доповідалися та обговорювалися на XIV міжнародній конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. III Міжнародної науково-технічної конференції «SMART-ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ЕЛЕКТРОНІЦІ – 2018», смт. Лазурне, Скадовський район, Херсонська область. 21 - 25 серпня 2018 р., Всеукраїнській науково-практичній конференції "Новітні технології сучасного суспільства" (НТСС-2018); м. Чернігів 12 грудня 2018 та на лекторіях GreenCamp 2018, TeslaCamp 2018, хакатонах CircularEconomyHackathon 2018, ElephantHackathon 2018.

Публікації. 1. Семенюк А.О., Скрипник Д.В. Особливості роботи з даними в системі діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2018. № 29 (68) (5). С. 122 - 124. URL: http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/5_2018/part_3/25.pdf

2. Діденко В. О. Алгоритм обробки даних з датчиків в системі діагностування технічного стану механізму хитання кристалізатора [Електронний ресурс] / В. О. Діденко, О. Ф. Бондаренко, А. О. Семенюк // Матеріали XIV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22770>.

3. Семенюк А.О., Крамаренко С.В. Макет системи контролю електроживлення локального об'єкту з розподіленими джерелами / Матеріали Всеукраїнської науково-практичній конференції "Новітні технології сучасного суспільства" (НТСС-2018); м. Чернігів 12 грудня 2018, с. 85-87.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 66 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 97 сторінок, у тому числі 82 сторінки основного тексту, 25 рисунків та 15 таблиць.

Розділ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1. Огляд систем розподіленої генерації енергії

Сучасний рівень технічного розвитку та прагнення до створення максимально комфортних умов життя людини призвів до високого ступеню насиченості локальних об'єктів електричними, електронними та іншими пристроями та системами, в яких контроль і регулювання робочих характеристик здійснюється від спеціалізованими системами [7]. Такі системи отримали назву «бїлдїнгової електронїки» [7] [8].

Приклад структури системи автоматизованого керування побутовими пристроями „розумного будинку” наведено на рис.1.1., складовими частинами якої є:

- інфраструктура будинку: водопостачання, освітлення;
- зв'язок та комп'ютерна мережа: інтернет, стаціонарний телефон, комп'ютер;
- смартфон;
- клімат-контроль;
- розваги: аудіосистема, телевізор;
- системи безпеки: датчики контролю води, диму, сигналізація, моніторинг температури.

Всі пристрої під'єднані до електромережі за допомогою комутаторів, забезпечуючи передачу і прийом даних кожним пристроєм з використанням єдиного протоколу зв'язку. Система забезпечує:

- 1) роботу електротехнічних навантажень у відведені для них тарифні інтервали часу;

- 2) функціонування пристроїв аварійної сигналізації у випадку пожежі, затоплення, несанкціонованого проникнення та ін.;
- 3) заборону подачі газу при порушеннях у електромережі та спрацюванні аварійних датчиків [9].



Рис. 1.1 Склад системи побутової автоматизації „розумного будинку”

Аналіз розподілення споживання електроенергії по галузям народного господарства свідчить про велику частку споживання енергії локальними об'єктами та обумовлює актуальність вирішення питань забезпечення енергоефективності електротехнічної системи об'єкту. Наприклад загальне електроспоживання по місту Києву становило у 2005 р. близько 9,3 млрд. кВт.*год, у 2010 р. - 11,5 млрд. кВт.*год. Понад 50% цього обсягу електроспоживання складають потреби комунально-побутового господарства міста, 33% - промисловості та 10% - електротранспорту [10] [11]. З точки зору енергозбереження майже всі процеси та види робіт, пов'язані з комунально-побутовим енергоспоживанням, варті пильної уваги та оцінки, оскільки на цей

сектор припадає до 20% паливно-енергетичних ресурсів. Таким чином, розглядання питань раціонального електроспоживання у локальних об'єктах є важливим для політики енергоефективності держави в цілому.

Локальний об'єкт характеризується наступними ознаками (табл. 1.1):

- виконанням єдиної задачі забезпечення життєдіяльності або виробничого процесу;
- обмеженою потужністю споживання порядку десятків-сотен кВт та живленням від однієї підстанції, для якої локальний об'єкт є окремим навантаженням;
- обмежений територіально – електротехнічні прилади зосереджені на невеликій площі, користувач може обійти та проконтролювати їх функціонування;
- наявністю людини – користувача або оператора – яка здатна вносити корективи в функції керування окремим систем або всього об'єкта. Ці корективи мають найвищий пріоритет і виконуються системою керування електроживленням, навіть якщо вони вступають у протиріччя з цільовою функцією системи [12].

Таблиця 1.1

Ознаки локального об'єкта

№/№ п/п	Ознака	Характеристика ознаки
1.	Тип виконуваної задачі	Єдина задача забезпечення життєдіяльності або виробничого процесу
2.	Потужність споживання	Десятки – сотні кВт
3.	Джерела	3.1. Не більше однієї підстанції з максимальною вихідною напругою 400 В. 3.2. Електрична мережа плюс альтернативні джерела 3.3. Альтернативні джерела
4.	Розташування по площі або об'єму	Невелика площа або об'єм, які можуть контролюватися однією або декількома людьми
5.	Вплив людини	Обов'язковий вплив – налагодження, керування, використання

До локальних об'єктів відносяться [13] [14] [15]:

- 1) фермерські господарства;
- 2) житлові будинки та готельні комплекси;
- 3) морські заводи, бурові свердловини, станції розробки корисних копалин, автономні науково-дослідні установки, корабельні електротехнічні системи;
- 4) космічні станції та заводи.

Очевидно, що за призначенням, характером та режимами функціонування електротехнічних пристроїв ці об'єкти суттєво відрізняються.

Задля підтримання належного рівня безпеки та комфортності користувача передбачається наявність необхідного рівня енергії, яка використовується для задоволення потреб споживача, підтримки температурних та інших зовнішніх умов. В реальних фізичних системах використання енергії, як правило, здійснюється шляхом переносу тепло-маси або передачі електричної енергії.

Найбільш легко керованим видом енергії є електрична. Її найвизначнішою властивістю є локалізація при передачі та зберіганні. Частка електричної енергії серед всіх типів первинних енергоносіїв складає близько 37% [16] і має тенденцію до невинного зростання, що вказує на необхідність розглядання проблем пов'язаних із ефективністю вироблення, перетворення, зберігання, транспортування та використання електроенергії. У локальних об'єктах електроенергія є основною при здійсненні корисної роботи (приводи насосів, вентилятори, автоматичні знаряддя праці); формуванні та підтриманні клімату і параметрів середовища у якому знаходиться людина; інформаційному забезпеченні охоронних систем, збір та обробка даних, систем транспортування) [9].

Розподілена генерація енергії – концепція будівництва розподільчих мереж та джерел енергії, яка заснована на існуванні безлічі споживачів, що виробляють електроенергію та тепло для власних потреб, а надлишки енергії

спрямовують у загальну мережу. На подібному принципі ґрунтуються, також, віртуальні електростанції.

Віртуальні електростанції – об’єднання різних виробників електроенергії з поновних джерел з можливістю її запасання та чие споживання менше за генерацію, яке регулюється одним центром (рис 1.2).



Рис.1.2 Узагальнена схема зв'язків у віртуальній електростанції

Володіючи центральною системою керування електропостачанням, можна з великою точністю контролювати затрати на виробництво, надходження коштів і економічні результати діяльності. Можна також досить у простий спосіб реалізовувати моделі фінансової підтримки і виставляти всі рахунки за споживання. Система має прогнозування виробництва енергії з ВДЕ, що потрібно для гармонійної співпраці з традиційною генерацією в реальному часі

і уникнення небалансу в енергосистемі. Всі елементи системи піддані моделюванню, що дозволяє отримати візуалізацію станів кожного, в тому числі у реальному часі. Крім наочності, система дозволяє проводити запис і архівувати дані процесів.

Джерелами розподіленої генерації можуть виступати:

- Вітрові турбіни. Доцільно встановлювати на узбережжі або у високогір'ї.

- Фотовольтаїчні панелі. Можуть бути з полікристалічного або монокристалічного кремнію, інших напівпровідникових матеріалів. Найбільш рентабельний і розповсюджений варіант.

- Гідротурбіна. Потребує побудови греблі.

- Сонячна теплеелектростанція. Рентабельна лише при побудові великих комплексів. Використовує сонячне випромінювання для нагрівання теплоносія, енергія якого потім перетворюється на електричну за допомогою турбін або двигунів зовнішнього згоряння.

- Біогазова чи біопаливна установка з виробництвом метану або використанням біомаси для спалення. Відносно екологічно-чиста, оскільки певна кількість вуглецю при спаленні метану все одно утворюється. Окрім електроенергії виробляє також тепло.

- Геотермальна енергія. Найбільш рентабельна в місцях вулканічної або гейзерної активності. В іншому випадку можна використовувати нормальне поверхнєве тепло Землі на глибині від декількох десятків до сотень метрів.

- Сонячні колектори опалення та гарячої води.

- Традиційні дизельні, газові або бензинові генератори.

- Акумуляторні батареї або інші джерела запасеної енергії.

Розглядаючи існуючі типи локальних об'єктів, доцільно створити їх класифікацію за основними ознаками: режимом електропостачання, критерієм ефективності керування (цільовою функцією), способом керування та функціональним призначенням (рис.1.3). [9]

за режимом електропостачання			
Автономні	Підключені до мережі		
за цільовою функцією			
Об'єкти типу “Ресурсозбереження”		Об'єкти типу “Економічність”	
за способом керування			
З централізованим керуванням	З децентралізованим керуванням		З комбінованим керуванням
за призначенням			
Дослідницькі станції (морські, метеорологічні, космічні)	Фермерські господарства	Невеликі виробництва, окремі цехи, локальні виробничі лінії	Комунально-побутові об'єкти (житлові будинки, спортивні комплекси, готелі)

Рис.1.3 Класифікація локальних об'єктів

Локальний об'єкт може бути як підключеним до централізованої електромережі, так і бути повністю автономним. Якщо локальний об'єкт підключається до мережі, яка є ізольованою – така мережа має назву MicroGrid.

MicroGrid - це локальна ізольована мережа. Чіткої межі потужності для неї не існує, тому зазвичай вона не вказується. Деякі компанії встановили собі межі, наприклад, близько 20 МВт, щоб сфокусуватися на вирішенні певних завдань. Існує і таке поняття, як NanoGrid, але дані мережі характеризуються малими потужностями - до 50 кВт [17].

Припускається, що локальний об'єкт, який буде розглянутий у даній роботі знаходиться в гірській території України і не підключений до зовнішньої мережі, тому найбільш доцільно використовувати фотовольтаїчні панелі та біогазову/біопаливну установку.

Електротехнічна система локального об'єкта, як правило, містить декілька генераторів та декілька накопичувачів електроенергії (рис.1.4).

Якщо розглядати режими роботи n генераторів електроенергії [18], що входять до складу локального об'єкту, то кількість Q можливих режимів генерації обчислюється відповідно до формули:

$$Q = 2^n \sum_{m=1}^n C_n^m + 1, \quad (1.1)$$

де множник 2 визначає можливість роботи у двох режимах (ввімкнено-вимкнено); $C_n^m = \frac{n(n-1)\dots[n-(m-1)]}{m!}$ - кількість сполучень з n елементів по i .

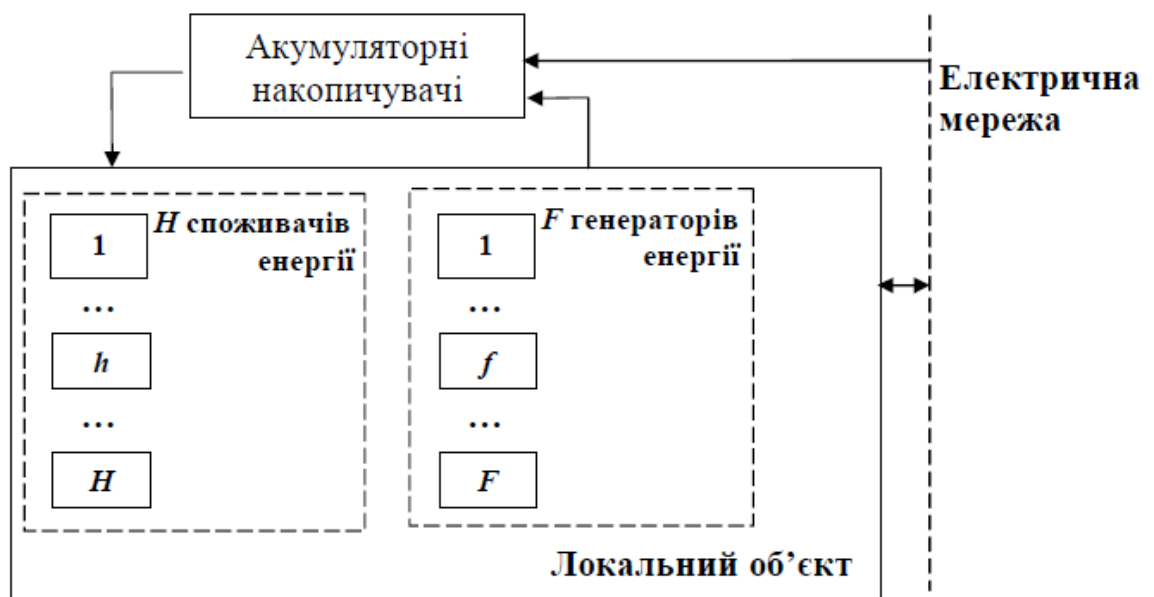


Рис. 1.4 Склад споживачів і генераторів локального об'єкта

Наприклад, якщо кількість генераторів $n = 5$ (електрична мережа, фотовольтаїчна панель, вітрогенератор, дизель-генератор, акумулятор у режимі розряду) кількість можливих режимів генерації складає 417. При сумісному розгляданні варіантів режимів генерації та споживання це значення стає значно більшим внаслідок великої кількості навантажень та їх режимів роботи (можливі проміжні режими роботи). Розроблення способів оптимального керування процесами генерації, накопичення та споживання електроенергії у локальних об'єктах потребує комплексного підходу до створення систем керування з урахуванням як режимів роботи окремих пристроїв, так і

особливостей їх сумісного функціонування у складі єдиного комплексу. Часова залежність споживання електричної енергії у локальних об'єктах характеризується наявністю "пікових" інтервалів з перевищенням деякого граничного рівня споживання, та інтервалів "недозавантаженості", коли значення енергії споживання значно нижче граничного. Так, для побутового локального об'єкта (рис. 1.5) спостерігаються піки споживання енергії у ранкові $[t1, t2]$ та вечірні $[t3, t4]$ години, а у денний та нічний час споживання енергії мінімальне. [9].

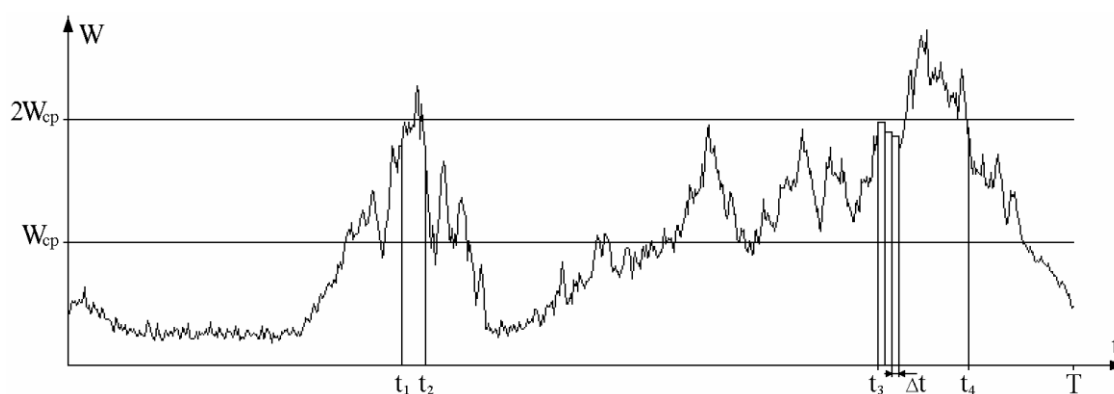


Рис. 1.5 Характеристика електроспоживання житлового будинку

Розглядаючи питання ефективного споживання електричної енергії у локальному об'єкті, слід враховувати наявність різних тарифних сіток на електроенергію в мережі. По всій території України діють коефіцієнти для споживачів з двозонними і тризонними лічильниками відповідно (табл.1.3) [19].

В систему керування електроспоживанням можна закласти такі режими роботи електроприладів, за яких потужність споживатиметься найбільш оптимальним чином. Наприклад, накопичувальний бойлер для нагрівання води, електроопалення, пральну машинку можна вмикати лише в час нічного тарифу. Однак це припустимо лише для локальних об'єктів, підключених до електромережі.

Тарифні коефіцієнти для населення

2-зонні тарифи, диференційовані за періодами часу	нічний	денний	напівпіковий	піковий
Тарифні коефіцієнти	0,5	1	-	-
Тривалість періоду, год.	з 23:00 до 7:00	в інші години доби	-	-
3-зонні тарифи, диференційовані за періодами часу	нічний	денний	напівпіковий	піковий
Тарифні коефіцієнти	0,4	-	1	1,5
Тривалість періоду, год.	з 23:00 до 7:00	-	з 7:00 до 8:00; з 11:00 до 20:00 з 22:00 до 23:00	з 8:00 до 11:00; з 20:00 до 22:00

У випадку автономного локального об'єкту такі прилади доцільніше всього вмикати у денні години, коли генерація електроенергії з фотовольтаїчних панелей досягає піку. Знову ж таки, все залежить від встановлених потужностей. Якщо їх мало, доцільніше всього взагалі відмовитись від бойлера і електроопалення та використовувати, наприклад, сонячні колектори або котли на біопаливі.

1.2. Огляд методів керування і прогнозування в системах розподіленої генерації

Дослідження енергетичних процесів та способів ефективного керування енергетичними потоками для локальних об'єктів проводилися відомими вітчизняними та закордонними вченими [20], [21], [22], [23], [15], [24]. У найближче десятиліття можна очікувати концентрації зусиль вчених та інженерів в галузі створення, розвитку, дослідження та забезпечення енергоефективності локальних об'єктів [9].

Однак, розробки що існують та проекти енергоефективного керування локальними об'єктами, що вже використовуються на сьогодні, не вирішують задачі комплексного ефективного використання енергії з погляду забезпечення життєдіяльності людини як користувача та мінімізації витрат із виконанням необхідної роботи. Розв'язати цю задачу можливо, не лише розглядаючи локальний об'єкт як сукупність окремих пристроїв, але досліджуючи: функціональні та інформаційні зв'язки між пристроями; взаємовплив їх робочих режимів; вартісні витрати на експлуатацію.

Задача оптимального керування електроживленням локальних об'єктів передбачає визначення критерію ефективності, у відповідності з яким здійснюється побудова керуючих алгоритмів. В залежності від призначення, пріоритетності функцій та особливостей роботи локальних об'єктів доцільно розглядати два основних критерії:

1) мінімізація використання ресурсів: $\int Y(t)dt \longrightarrow \min,$

де $Y(t)$ – часова залежність обсягів ресурсів, що споживаються в процесі функціонування локального об'єкту;

2) мінімізація витрат у грошовому визначенні: $\int P(t)dt \longrightarrow \min,$

де $P(t)$ – часова залежність грошових витрат.

У разі, якщо виконання умови оптимальності протирічить необхідності дотримання належного рівня безпеки та комфорту існування людини, перевага безперечно надається останньому [12].

Наведені формулювання оптимізаційної задачі характеризують два основних типи локальних об'єктів: об'єкти типу «Ресурсозбереження» (див.рис.1.3), для яких найважливішою є задача раціонального використання ресурсів, що є актуальним для автономних систем електропостачання, та об'єкти типу «Економічність», для яких головним є раціональне використання грошових коштів. У об'єктах і першого, і другого типу актуальною є задача оптимального вибору режимів роботи генераторів та навантажень, що входять до складу системи, відповідно до вимог мінімізації кількісних або вартісних

витрат та ієрархічного розподілу пристроїв з урахуванням важливості, потужності споживання, часу та тривалості роботи.

У подальшому розглядатимуться локальні об'єкти типу «Ресурсозбереження», типовим прикладом яких є великий приватний житловий будинок, насичений різноманітним електротехнічним обладнанням. Зазначимо, що на сьогодні існує майже 400 найменувань електропобутових приладів різного призначення і кількість типів приладів буде неухильно зростати. [9]

Система керування електроживленням для локального об'єкту має забезпечувати виконання умов заводозахисності [25], простоти реалізації та невисокої вартості реалізації. Швидкість передавання інформації може бути не занадто високою – цілком припустимим є передача керуючого імпульсу чи сигналу керування протягом інтервалу в десятки-сотні мілісекунд. Для створення такої системи необхідно налагодити обмін інформаційно-керуючими сигналами між пристроями локального об'єкту, а також розробити відповідний математичний апарат аналізу, обробки, прогнозування та продукування сигналів керування за обраним критерієм ефективності.

Таким чином, теорія вирішення задачі реалізації енергоефективного керування процесами електроживлення – електроспоживання включає:

- 1) розв'язання рівнянь динаміки електротехнічних приладів;
- 2) побудову економічних моделей виробництва та споживання локальних об'єктів;
- 3) організацію взаємодії окремих пристроїв між собою та центральним блоком у єдиному інформаційному середовищі з метою пристосування поведінки кожного з них до найкращої колективної стратегії, що визначається обраним критерієм оптимізації. Зазначені складові загальної теорії керування електроживленням дозволять здійснити розробку ефективних алгоритмів з урахуванням технічних характеристик та вартісних факторів локальних об'єктів.

Збільшення ефективності споживання передбачає наявність пристроїв та технологій, які дозволяють уникнути генерації реактивних потужностей, зменшити втрати енергії, забезпечити належну якість та стабілізацію параметрів електричної енергії, що постачається, створити умови для забезпечення надійного безперебійного електроживлення, здійснювати компенсацію впливу несиметричних режимів у мережі живлення на роботу навантажень. Відповідність якості електроенергії однаковим визначеним нормам у всіх точках під'єднання навантажень та генераторів дає можливість періодично проводити порівняльні розрахунки якості та кількості електроенергії, що генерується та споживається у різних точках загальної мережі, а також визначати оптимальні режими роботи і формувати структуру системи.

Об'єднання генераторів та накопичувачів у єдину систему із забезпеченням потрібної якості енергії досягається шляхом застосування перетворювальних пристроїв, що супроводжують практично всі точки підключення генераторів та навантажень та виконують наступні функції:

- 1) зміна режимів роботи генераторів і навантажень, що входять до складу локального об'єкта, у відповідності з алгоритмом роботи;
- 2) забезпечення однакових параметрів електричної енергії;
- 3) корекція коефіцієнта потужності у мережі електроживлення та забезпечення синусоїдальних струму та напруги споживання від генераторів;
- 4) компенсація впливу несиметричних режимів генераторів та електричної мережі на роботу навантажень;
- 5) відбирання максимальної енергії від генераторів різних типів. Це дозволяє забезпечити перетворення механічної, фотоелектричної, теплової енергії та енергії, накопиченої у акумуляторах, у електричну енергію певних параметрів.

Керування всіма типами перетворювачів відбувається на базі загальної задачі мінімізації ресурсів або витрат на функціонування локального об'єкту в цілому. Саме тому кожний перетворювальний пристрій зі своєю системою

керування є елементом спільного середовища, в якому відбувається обмін інформацією та корегування керуючих алгоритмів окремих пристроїв у відповідності до загальної оптимізаційної задачі. В залежності від наявності вільної енергії, завантаженості системи, ієрархічного розподілу, а також вартісних факторів керуючі алгоритми для перетворювачів змінюються, забезпечуючи найбільш ефективне використання енергії у системі.

Структуру системи електроживлення локального об'єкта, в якій реалізоване комунікаційне середовище обміну інформацією між пристроями, наведено на рис.1.6. Доцільність розгляду задачі підвищення ефективності споживання енергії існує за наявності декількох генераторів ($\Gamma_1, \dots, \Gamma_F$) – електричної мережі та відновлюваних джерел живлення. Акумуляторні накопичувачі (АкН) виконують функцію джерела або споживача енергії в залежності від режиму їх роботи.

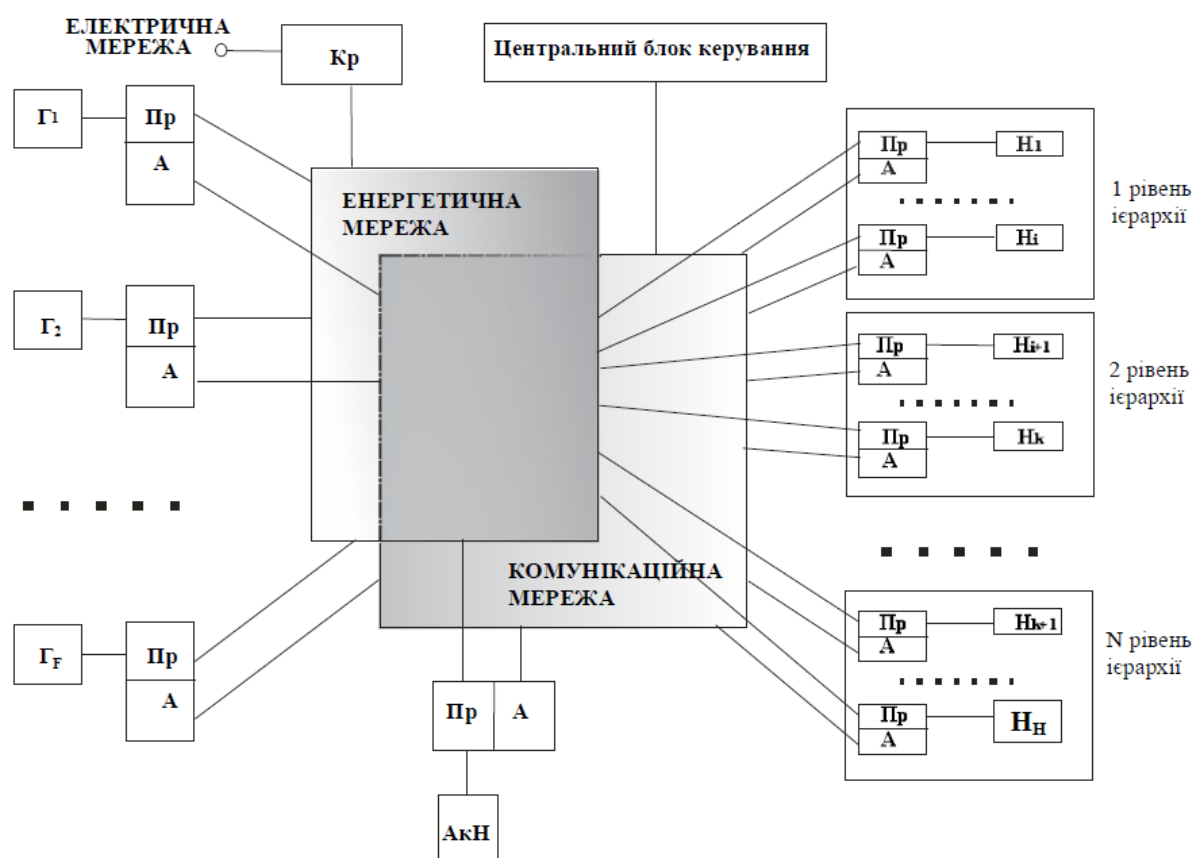


Рис. 1.6 Комунікаційне середовище локального об'єкта

Перетворювачі параметрів електричної енергії (Пр) – компенсатори реактивної потужності, коректори, фільтри, стабілізатори, широтно-імпульсні перетворювачі, інвертори, випрямлячі – та їх системи керування здійснюють регулювання режимів роботи генераторів і навантажень (H_1, \dots, H_H), стабілізацію і нормування параметрів електричної енергії у загальній системі.

Обмін інформацією між пристроями та центральним блоком керування здійснюється шляхом використання автоматів (А), які є частинами системи керування та задають режим роботи у відповідності з вимогами оптимізаційної задачі. Центральний блок керування проводить узагальнення даних, отриманих від окремих пристроїв, та надає інформацію у комунікаційну мережу про оцінку стану системи та динаміку споживання енергії по пристроям та рівням їх ієрархії.

1.2.1 Електротехнічна реалізація

Найбільш поширені системи з альтернативними генераторами характеризуються тим, що в будь-який момент часу лише один з наявних генераторів віддає енергію в навантаження [26].

Інші генератори в цей інтервал часу відключені або працюють на інше відокремлене навантаження. При цьому, зростає споживання енергії від мережі, а це, у свою чергу, зменшує ефективність використання енергії та збільшує вартісні витрати. Тому важливо забезпечити одночасну віддачу енергії в систему декількома генераторами.

Електрична мережа являє собою джерело напруги $U_{lm}\sin(\omega t)$ – генератор_1 з потужністю, що значно перевищує потужність локального об'єкту і по відношенню до неї може вважатися нескінченною. Для альтернативних генераторів умова відбирання максимальної енергії передбачає стабілізацію вихідного струму на рівні, що відповідає максимуму енергії та визначається зовнішніми умовами (наприклад, освітленістю або швидкістю вітру). Тому альтернативні генератори 2- F доцільно представляти у вигляді

джерел струму $I_{im}\sin(wt)$, $i = 2, \dots, F$, з'єднаних паралельно навантаженню. Синусоїдальні струми від альтернативних джерел додаються у спільному вузлі, і сумарний струм надходить до еквівалентного навантаження $R_{ЕКВ\ H}$ [9].

Однотипність параметрів електроенергії забезпечується застосуванням перетворювачів [27] [28]:

1) двоспрямованого коректора потужності, що забезпечує споживання та віддавання в мережу активної потужності;

2) перетворювачів „змінна напруга – синусоїдальний струм”, що вмикаються на виході альтернативних генераторів;

3) перетворювача реактивного опору в активний $Z_H \rightarrow R_{ЕКВ\ H}$, який забезпечує споживання сумарним опором всіх навантажень Z_H синусоїдального струму з нульовим фазовим зсувом відносно напруги живлення;

4) зарядних перетворювачів “напруга-постійний струм”, що вмикаються на виходах мережі та всіх відновних джерел для утворення струму заряду масиву акумуляторних батарей як суми постійних струмів на виході перетворювачів;

5) розрядних перетворювачів «постійна напруга-синусоїдальний струм» $U_{AB} \rightarrow I_{ABm}\sin wt$ та $U_{AB} \rightarrow I_{ABm}\sin wt$. Можливі інші варіанти реалізації зарядних перетворювачів – «напруга-напруга» або «напруга-постійна потужність», але в цих випадках в кожний момент часу до акумуляторних батарей під'єднується лише один з генераторів [9].

1.2.2 Існуючі системи

Smart-MAC. Розумні лічильники smart-MAC [29] дозволяють у простій і візуальній формі проводити контроль та аналіз споживання електроенергії, тепла, газу, води тощо. Модельний ряд представлений енергометрами для постійного вимірювання параметрів електричної мережі і споживання електроенергії, імпульсними лічильниками для вимірювання споживання води, газу, тепла, датчиками температури, вологості, освітленості й будь-яких інших

ресурсів, станів і подій. Всі пристрої виконані в універсальному корпусі з можливістю монтажу на DIN рейку.

Для аналізу й візуалізації даних використовується універсальний Web-додаток smart-MAC Dashboard який працює у звичайному інтернет браузері, а також як додаток для платформ Windows, Androin і iOS. smart-MAC Dashboard дає можливість контролювати поточні показання та візуалізувати історичні дані отримані з пристроїв smart-MAC, наприклад, для оптимізації споживання при двухтарифному або багатотарифному обліку. Користувачу доступні гнучке налаштування віджетів індикаторів і графіків, необмежена кількість дощок і підключених пристроїв до одного облікового запису Так само поточні дані доступні на WEB сторінці самого пристрою (рис. 1.7).



Рис. 1.7 Принцип роботи системи

Керування всіма типами перетворювачів відбувається на базі загальної задачі мінімізації ресурсів або витрат на функціонування локального об'єкту в цілому. Саме тому кожний перетворювальний пристрій зі своєю системою керування є елементом спільного середовища, в якому відбувається обмін інформацією та корегування керуючих алгоритмів окремих пристроїв у відповідності до загальної оптимізаційної задачі. В залежності від наявності

вільної енергії, завантаженості системи, ієрархічного розподілу, а також вартісних факторів керуючі алгоритми для перетворювачів змінюються, забезпечуючи найбільш ефективне використання енергії у системі[31].

Пристрій smart-MAC легко встановлюється, фіксується і підключається. Після включення пристрій доступний як точка доступу Wi-Fi, початкова налаштування можливе з будь-якого мобільного пристрою та займає декілька хвилин. Лічильник самостійно підключається до хмарного сервера даних і забезпечує двоспрямований обмін інформацією. Всі пристрої оснащені MQTT клієнтом і легко можуть бути налаштовані на передачу даних на сторонній MQTT сервер і управління зовнішнім навантаженням за відповідним топіком.

Функції приладів:

- Окрім спожитих кВт•год електролічильники вимірюють поточні значення струму, напруги, потужності і косинуса фі (power factor) мережі.
- Моніторинг виробництва сонячної та іншої енергії з відновлюваних джерел, оповіщення про подію зміни напруги енергії.
- Вимірювання температури з підключенням до п'яти датчиків до одного пристрою, плюс аналоговий вхід, наприклад, для датчиків вологості.
- Усі пристрої забезпечують високу точність вимірювань з похибкою до 1%, що відповідає стандартним побутовим лічильникам.
- Контроль перевищення допустимого вироблення електроенергії з можливістю включення «баластних» споживачів, наприклад, бойлера.
- Комутаційне реле зовнішнього навантаження управляється з Dashboard, WEB сторінки пристрою, через MQTT та API інтерфейси.
- Для зв'язку з хмарним сервером і клієнтом пристрої використовують бездротове з'єднання Wi-Fi, протокол IEEE 802.11 b/g/n.
- Вимірювання температури з підключенням до п'яти датчиків до одного пристрою, плюс аналоговий вхід, наприклад, для датчиків вологості.
- Всі пристрої оснащені резервною пам'яттю і здатні зберігати дані до 30 діб при відсутності зв'язку з сервером.

- Відкритий API інтерфейс на REST запитах, пристрій легко інтегрувати з розумним будинком та системами обліку даних .

- Після ввімкнення пристрій доступний як точка доступу Wi-Fi, початкова настройка можлива з будь-якого смартфона і займає лічені хвилини

Продуктова лінійка smart-MAC (рис.1.8) представлена рішеннями для моніторингу будь-яких подій, станів і процесів - однофазний електролічильник та трифазний електролічильник із кільцевими або роз'ємними трансформаторами струму, лічильники імпульсів із датчиками температурних режимів та аналоговим входом.



Рис. 1.8 Енергомонітор найвищого класу D103-300A

Для комплексного вирішення рекомендується звернути увагу на продукти сторонніх виробників, які інтегруються з пристроями smart-MAC - лічильники води, тепла, палива, датчики до газових лічильників та інші витратоміри з імпульсними виходами.

Додаток smart-MAC Dashboard, рис 1.9, надає можливість контролювати поточні показання та візуалізувати історичні дані, для чого доступні різноманітні віджети індикаторів та графіків. Повнофункціональна безкоштовна версія СТАРТ дозволить працювати з одним пристроєм на одній дошці, а розширені пакети ПРОФІ та БІЗНЕС нададуть у ваше розпорядження необмежену кількість дощок і підключених пристроїв до одного облікового запису. Оплата обраної підписки проводиться з особистого кабінету після реєстрації в додатку smart-MAC Dashboard [29].



Рис. 1.9 Демонстраційний ВЕБ-Інтерфейс додатку

PSIvpp

Система комплексних рішень для віртуальних електростанцій під назвою PSIvpp [30]. На першому етапі здійснюється приєднання пристроїв до нових «розумних» контролерів, що дає можливість динамічного керування загальною мережею і децентралізованими елементами. Далі створюється високопродуктивний комунікаційний канал для передавання в реальному часі

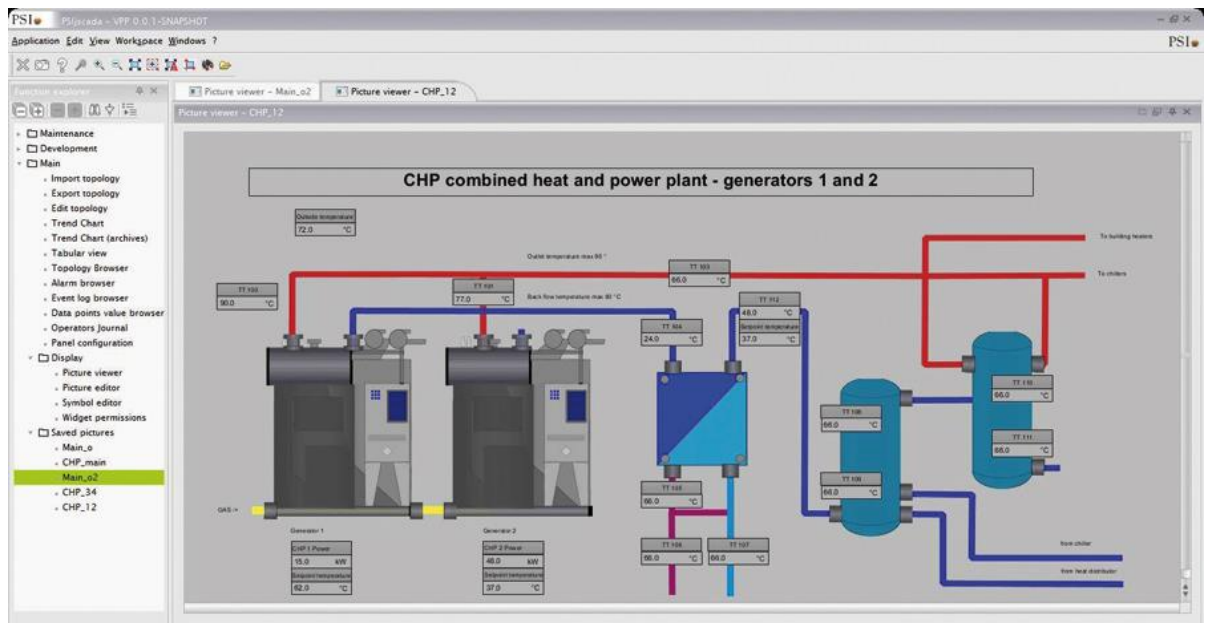
команд керування і реєстрації даних генерування і споживання. Останній етап повинен створити інтеграцію генерування з оптимальною діяльністю на ринку електропостачання.

Маючи центральну систему керування постачанням електроенергії, можна докладно контролювати витрати на виробництво, надходження коштів і економічні результати діяльності. Є можливість простим способом реалізовувати моделі фінансової підтримки і виставляти всі рахунки за споживання. Система має прогнозування виробництва енергії з ВДЕ, що потрібно для гармонійної співпраці з традиційною генерацією в реальному часі.

Система оптимізованої, ефективної та високої доступності SCADA забезпечує надійну передачу даних, технічний контроль та моніторинг системи. Ця система також базується на багаторічному досвіді з боку ІПС щодо великомасштабних, високотехнологічних систем управління та гарантує безпечне захоплення та передачу даних про виробництво та споживання, а також функціонує як система моніторингу та контролю в режимі реального часу (рис.1.10 а, б,).



a)



б)

Рис. 1.10 Інтерфейс програми керування SCADA

Всі елементи системи піддані моделюванню, що дозволяє отримати візуалізацію станів кожного елемента системи. Графічне представлення системи дозволяє оглядати весь процес в реальному часі. Окрім наочності, система дозволяє вести записування і архівувати дані процесів.

З віртуальною електростанцією працює «розумне» обладнання STU (Smart Telecontrol Unit) [30] (рис.1.11), яке приєднується до всіх компонентів. Дані вимірів і повідомлення різних генераторів та споживачів збираються в STU, а потім пересилаються до системи керування віртуальною станцією. Це обладнання використовує популярні протоколи телекерування IEC 60870-5-101/-103/-104, IEC 61850 і DNP3, промислові протоколи Modbus і CANopen, а також протоколи лічильників SML, SYM2, DLMS, IEC 62056-21.

Робота такої системи формує фактично нову модель ринку електрогенерації з відновних джерел енергії. Програмне забезпечення дозволяє отримати кращу економічність генерування від великої кількості малих систем, які отримують можливість коректнішої і успішнішої співпраці з традиційним ринком електроенергії [31].

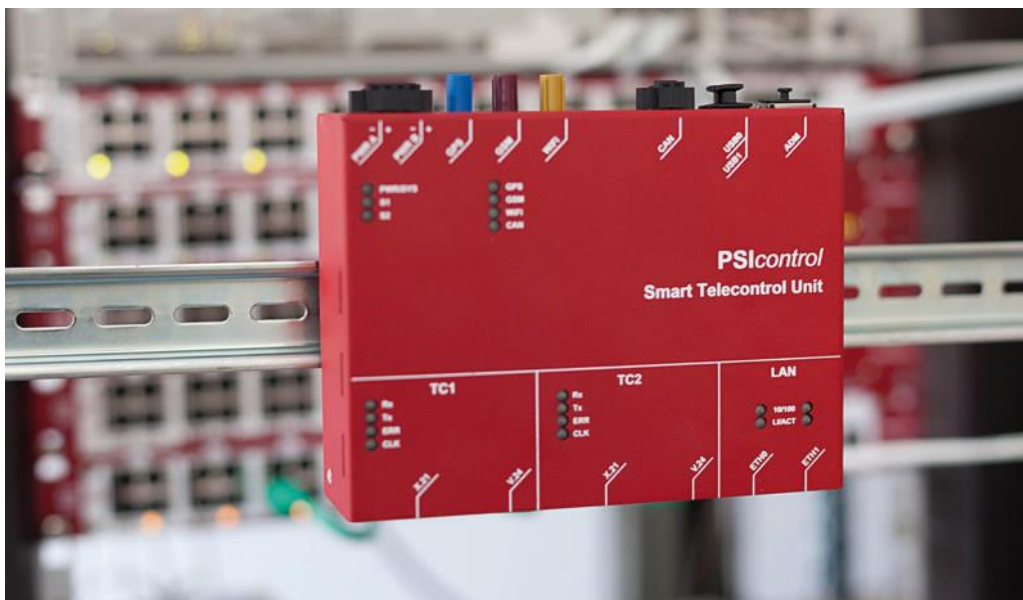


Рис. 1.11 STU

Одним з наочних прикладів впровадження енергоефективного керування в локальному об'єкті є розроблена норвезькою компанією „Тех-Партнер” система автоматизованого керування електротехнічними пристроями та забезпеченням якості Restaurant Intelligent System у мережі харчування McDonald's, яка дозволяє покращити якість роботи та зменшити енергоспоживання в ресторанах майже на 25%. Система утворює централізовану керовану мережу для автоматизованого координування, контролю і регулювання кухонного обладнання, підтримання клімату, водонагрівальних приладів, освітлення, охорони, опалення через електричну інфраструктуру, яка вже існує. Це дозволило створити єдиний електротехнічний комплекс, в якому режими роботи окремих пристроїв узгоджені між собою, що дозволяє уникнути перевантажень та неоптимальних режимів роботи всього комплексу.

Відомий також підхід до підвищення надійності захисту електричного обладнання будинку від блискавок [32], який базується на нейтралізації просторового заряду грозової хмари встановленням іонізатора та заземлюючих стрижнів по всьому периметру території будинку [9].

Висновки до першого розділу

Локальні об'єкти споживають велику частку електроенергії і з кожним роком ця частка зростає, оскільки кількість електротехнічних засобів, якими наповнені ці об'єкти зростає також. В умовах необхідності переходу на відновлювані джерела енергії і поширення концепції розподіленої генерації, постає проблема енергоефективного керування споживанням енергії цими пристроями, а також, прогнозування цього споживання. Системи, що здатні вирішити ці проблеми створюються та розробляються у великій кількості.

Розділ 2. КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ В ЛОКАЛЬНИХ ОБ'ЄКТАХ ТА МІКРОМЕРЕЖАХ

2.1. Прогнозування енергоспоживання та методи його реалізації

Як зазначено в роботі Гоголюк О.П., оптимальний розвиток ЕЕС забезпечують три аспекти: планування, прогнозування та функціонування [33]. В умовах ринку електроенергії на точність прогнозування електроспоживання впливають як технологічні, так і економічні показники енергосистеми. Однією з основних умов для успішного функціонування підприємств є ефективність управління. Це досягається, зокрема, плануванням і контролем розподілу електроенергії та прогнозуванням електроспоживання.

Прогнозування електричного споживання забезпечує основну інформацію для прийняття рішень під час керування електротехнічними системами та плануванням їх нормальних режимів. Усі електричні мережі характеризуються частими змінами навантаження, які можуть мати як добовий або сезонний характер, так і випадковий – тобто залежати від потреб споживання, і змінюватися протягом короткого проміжку часу [34], [35], [36], [37], [38]. За таких умов виникають значні проблеми із забезпеченням споживачів електроенергією, розробкою систем моніторингу та прогнозування навантаження.

На основі прогнозування навантаження розраховуються початкові та оптимальні режими електроенергетичних систем і їхні техніко-економічні показники тощо.

Навантаження ліній електропередавання залежить від обсягу споживання електроенергії. У випадку перевантаження ЛЕП може вийти з ладу, що викличе важкі наслідки для енергосистеми. Стале постачання комунальної сфери та промислових підприємств електроенергією зумовлює необхідність надійного

захисту ліній електропостачання від аварій, тому прогнозування електропостачання в цьому аспекті також є важливою задачею.

Функціонування енергосистеми можливе лише за умови неперервності технологічного процесу виробництва, пересилання та використання електричної енергії. Ефективне керування виробництвом електроенергії та раціональне використання енергоресурсів можливе на підставі прогнозу її споживання.

Розрізняють три основні види прогнозування:

- 1) короткотермінове прогнозування, що застосовується для передбачення навантаження на однодобовий чи кількадобовий період;
- 2) середньотермінове прогнозування, що використовується для передбачення енергоспоживання на тижневий, місячний чи річний період;
- 3) довготермінове прогнозування, яке використовується для передбачення енергоспоживання системи на довготривалі терміни.

Переважає більшість праць, присвячених прогнозуванню електричного навантаження, не враховує склад, специфіку і технологічні особливості електроспоживачів, а також багаторівневу структуру енергоспоживання, що зумовлює необхідність розроблення комплексного підходу до розв'язання цієї проблеми [34], [35], [39], [40].

Досі прогнозування енергоспоживання, зазвичай, здійснювалось на основі методу експертного оцінювання, що не завжди може забезпечити необхідну точність прогнозу. Тому оптимальному розподілу навантаження між споживачами сприятиме точне прогнозування електроспоживання.

Більшість алгоритмів прогнозування енергоспоживання є комбінацією різноманітних статистичних процедур. Існують методи прогнозування в яких виділяється базова та змінна складові навантаження. Також використовують методи, в яких зміни навантаження розглядаються як випадковий процес. Важливим також є факт того, що наявні методи прогнозування не можуть функціонувати з неповними або наповненими шумом даними, в той час як саме

вони і мають такий характер. Проте, передбачення електричного навантаження базується на врахуванні певних відомих властивостей прогнозованого процесу.

Слід зазначити, що змінам навантаження енергосистем може бути притаманний випадковий характер. Унаслідок природних змін навантаження та впливу стохастичних факторів періодичність у графіках навантаження відсутня. Відтак, застосування деяких методів зумовлює виникнення значних похибок в оцінюванні прогнозованих величин, а інші через труднощі математичних методів не отримали широкого застосування для розв'язування практичних задач електроенергетики.

Постановка та розв'язання задачі прогнозування електричного навантаження традиційними способами складається з двох етапів [41]:

- 1) побудова математичної моделі, за допомогою якої відбувається обробка даних про навантаження за минулий часовий проміжок;
- 2) здійснення прогнозу на основі отриманої моделі.

Для виконання умови достовірності й адекватності математичні моделі, призначені для прогнозування енергоспоживання, мають враховувати:

- 1) передісторію системи (інформація про стан системи, який передую моделюванню);
- 2) зміни астрономічних факторів (коливання світлової тривалості доби), що спричиняють зміни астрономічної складової електричного навантаження;
- 3) вплив зовнішніх факторів і атмосферних проявів;
- 4) вплив сезонності навантаження мережі та тривалості робочого дня;
- 5) структурні зміни в промисловому навантаженні;
- 6) соціальні та політичні фактори.

Залежно від застосовуваного методу прогнозування енергоспоживання може бути змодельоване як детермінований процес чи процес з імовірнісним характером електроспоживання. Тому математичні методи можна розділити на три групи: ймовірнісного прогнозування, аналітичного прогнозування та статистичної класифікації [42], [35], [43], [44].

Існує низка методів і моделей, призначених для прогнозування навантаження [45], [46], [41], [37] [47], а саме:

1) моделі часових рядів у яких навантаження моделюється як функція її спостережуваних у минулому значень. До них належать мультиплікативні авторегресійні, динамічні лінійні чи нелінійні моделі, порогові авторегресійні моделі зі застосуванням фільтрів Калмана [48] й інші;

2) причинно-наслідкові моделі, де навантаження моделюється як функція деяких екзогенних факторів (на основі передатних функцій Бокса й Дженкінса), оптимізаційні моделі та моделі непараметричної регресії) [49].

Запропонована загальна класифікація моделей, призначених для вирішення задачі прогнозування енергоспоживання, яка враховує види моделей, детально проаналізовані в [35], [41], [39], [50], [44], а також [51], [52] наведена на рис.2.1.

На практиці лінійні регресійні моделі та моделі, які розподіляють навантаження на базову і залежну від погоди складові набули найбільш широкого використання. Проте, вони є, зазвичай, лінійними моделями, однак ряди навантажень є нелінійними функціями зовнішніх змінних. У праці [50] описано побудову ієрархічної багатофакторної математичної моделі електричного навантаження для вирішення задачі короткотермінового прогнозування з метою коректнішого врахування впливу астрономічних і метеорологічних факторів.

Ефективність застосованих до прогнозування підходів може бути перевірена шляхом оцінювання найменшої похибки прогнозування, працездатності алгоритму за умови неповної інформації та його завадостійкості. За таких умов розроблення нових підходів, методів і алгоритмів для прогнозування енергоспоживання, які б враховували розмаїття неточних чи неповних даних, сьогодні є актуальною науковою та прикладною проблемою. Розроблена математична модель навантаження повинна точно математично представити взаємозв'язок між енергоспоживанням і факторами, які на нього

впливають (час, погода, економічні фактори тощо) й тому важливо вибрати відповідні математичні методи залежно від виду прогнозування.



Рис. 2.1 Класифікація моделей прогнозування енергоспоживання

Серед розроблених моделей із використанням рядів для прогнозування широкого застосування набули [35], [46], [41]: метод ковзного середнього, авторегресійні моделі, метод експонентного згладжування. Метод ковзного середнього може бути використаний у вигляді двох модифікацій, тобто методу простого та зваженого ковзного середнього. Суть методу простого ковзного

середнього полягає у тому, що прогнозоване енергоспоживання може бути розраховане як його усереднене значення за декілька попередніх часових проміжків у такому вигляді [33]:

$$f_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{k-i} \quad (2.1)$$

де f_k – прогноз енергоспоживання на момент часу t_k , N – кількість попередніх часових моментів, використаних під час розрахунку, x_{k-i} – реальне значення показника енергоспоживання в момент часу t_{k-i} .

Метод зваженого ковзного середнього дозволяє врахувати той факт, що дані за попередні часові інтервали мають неоднаковий вплив на результуючий показник енергоспоживання. Результатне енергоспоживання може бути розраховане з урахуванням вагових коефіцієнтів [33]:

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^N \omega_{k-i} x_{k-i}}{\sum_{i=1}^N \omega_{k-i}} \quad (2.2)$$

де ω_{k-i} – ваговий коефіцієнт показника x_{k-i} .

Перевагою застосування цього методу є те, що під час визначення ковзних середніх зменшується вплив випадкових відхилень прогнозованих значень, оскільки значення динамічного ряду показників замінюється середніми арифметичними всередині вибраного часового інтервалу. До недоліків методу можна віднести неможливість урахування специфіки даних і динаміки коливань часових значень. За малої кількості спостережуваних значень можна отримати спотворений результат прогнозування спостережуваної величини.

Авторегресійні моделі – це моделі часових рядів у яких значення часового ряду в даний момент лінійно залежать від попередніх значень того ж ряду [39], [42]. За допомогою авторегресійних моделей можна моделювати сезонність енергоспоживання. В такому випадку кількість коефіцієнтів моделі відповідатиме кількості циклічно змінних факторів, які приймаються до уваги. Авторегресійний процес порядку p визначається таким чином [33]:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p a_i X_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.3)$$

де a_1, \dots, a_p – параметри моделі (коефіцієнти авторегресії), c – стала (часто для спрощення її приймають рівною нулеві), а ε_t – білий шум.

З метою прогнозування навантаження доцільно застосовувати таку форму авторегресійної моделі:

$$L(t, d) = \sum_{k=1}^4 a_k L_k(t, d), \quad (2.4)$$

де a_k – лінійні ваги, які забезпечують оптимальну комбінацію чотирьох окремих прогнозів, $L_1(t, d)$ – прогноз $L(t, d)$ на основі авторегресійної моделі першого порядку з затримкою на 1 годину, $L_2(t, d)$, $L_3(t, d)$, $L_4(t, d)$ – те ж саме з затримкою в одну добу, тиждень і рік відповідно. За умови застосування цього методу середньоквадратична похибки добового прогнозування електричного навантаження не перевищують 4 % [39].

Метод експонентного згладжування, що може застосовуватися для прогнозування погодинного навантаження. У випадку розрахунку за цим методом застосовується формула [33]:

$$f_k = f_{k-1} + l(x_{k-1} - f_{k-1}), \quad (2.5)$$

де l – стала згладжування, деяке число з інтервалу $(0;1)$, яке визначає міру згладжування, f_{k-1} – прогноз енергоспоживання на момент часу t_{k-1} , x_{k-1} – реальне значення показника енергоспоживання в момент часу t_{k-1} . Визначальний вплив під час застосування цього методу має правильність вибору прогнозу f_1 в перший використаний часовий відлік і сталої згладжування l . Вибір початкових даних залежить від досвіду виконавця та наявності вхідних даних. Стала згладжування вибирається емпіричним шляхом, що базується на послідовному наближенні прогнозу енергоспоживання до реальних даних. Новими підходами, що можуть застосовуватися для вирішення проблеми прогнозування є методи нечіткої логіки та нейронних мереж (чи їх поєднання у

вигляді нечітких нейронних мереж). Вони дозволяють урахувати нові дані під час побудови моделі та властивості модельованого процесу, оскільки передбачають використання апріорної інформації [53].

Метод нейронних мереж піддається навчанню та є достатньо наочним для спостерігача. Основним елементом нейронної мережі є штучний нейрон. Штучні нейронні мережі є множиною сполучених і взаємодійних між собою штучних нейронів, для працездатності яких необхідно виконувати процедуру навчання. Нейронні мережі здатні виявляти складні залежності між вхідними та вихідними даними й виконувати узагальнення наявних, проте прихованих, властивостей і взаємозв'язків. Звідси випливає здатність навченої нейронної мережі до прогнозування, передбачати майбутнє значення певної послідовності на основі декількох попередніх значень чи наявних у даний момент факторів [54]. Такий спосіб застосування нейронних мереж для прогнозування енергоспоживання може бути працездатним навіть за умови неповної вхідної інформації.

Застосування систем з нечіткою логікою, чітко не визначають їхню належність до певної множини, дозволяє усунути недоліки штучних нейронних мереж. Моделювання із застосуванням нечітких множин є доцільним у разі дослідження складної технічної системи чи процесу, а також неможливості адекватно інтерпретувати апріорну інформацію й, зазвичай, неможливості застосування відомих кількісних методів.

Нечітка нейронна мережа є одним з видів штучного інтелекту, що поєднує у собі основні властивості, притаманні нейронним мережам і системам з нечіткою логікою. Існує значна кількість програмних комплексів, які надають можливості формування моделей прогнозування на базі штучних нейронних мереж. У середовищі MATLAB/Simulink наявний модуль Neural Network Toolbox, призначений для створення та навчання нейронних мереж, який може використовуватись для прогнозування навантаження.

Тим не менш, точне моделювання на основі всіх перерахованих методів є непростим через нелінійні та складні співвідношення між навантаженнями, випадкові впливи й інші фактори, від яких воно залежне.

2.2. Аналіз сигналів за допомогою вейвлет-перетворень

Вейвлетами, тобто «маленькими хвилями» або «сплесками» кінцевої величини (wavelets), називаються функції певної форми, основною властивістю яких є частотно-часова локалізація. На противагу від базисних функцій перетворення Фур'є, що добре локалізовані у частотній області, але зовсім не локалізовані у часі, так як визначені на усій часовій області ($-\infty < t < +\infty$), і на відміну від імпульсних базисних функцій Кронекера, що є повністю протилежними базисним функціям перетворення Фур'є, тобто, добре локалізованими в часовому просторі, але не локалізовані по частоті.

Разом з тим можна сказати, що це сукупність функцій, що утворюються шляхом масштабування та зсувів материнської функції. Дані функції локалізовані по осі аргументів і є інваріантними по відношенню до зсувів та лінійних операцій масштабування. Саме за рахунок зміни масштабу вейвлети можуть виявляти ті чи інші особливості сигналу, а за рахунок зсувів проаналізувати сигнал в усіх точках, тобто провести частотно-часовий аналіз з виявленням локальних особливостей.

Як було зазначено, вейвлет-перетворення є одним із перспективних методів аналізу сигналів, що містять ділянки нестационарності та інтервали як з повільно змінюваними значеннями, так і стрибкоподібними змінами або високочастотними пульсаціями [55], [20]. У якості переваг вейвлет-перетворень Ямненко Ю.С. [56] називає можливість розрахунку функцій на різних інтервалах визначення, що важливо принаймні з огляду на необхідність працювати з сигналами, визначеними на різних часових проміжках або перетворених з різною частотою дискретизації. Використання вейвлетів

дозволяє збільшити обсяг отриманої інформації за рахунок розглядання початкового сигналу на різних масштабах і отримання необхідної інформації про високочастотні складові різних рівнів деталізації [56].

Принцип вейвлет-перетворення полягає у використанні масштабованих та зсунених базисних функцій. Змінюючи масштаб розглядання початкового сигналу, можна виявити характерні особливості флуктуацій на різних шкалах, а шляхом зсувів – проаналізувати властивості сигналу в різних точках інтервалу дослідження.

Вейвлет-перетворення використовують у прямому та зворотньому напрямках:

- 1) Аналіз початкового сигналу (розрахунок набору коефіцієнтів розкладання – апроксимації та деталізації).
- 2) Синтез сигналу (реконструкція функції-оригіналу за відомими коефіцієнтами розкладання).

Слід зазначити, що синтез початкового сигналу може бути виконаний на довільному рівні розкладання. Кількість рівнів обирається виходячи з необхідного ступеня стиснення початкового сигналу та рівня подібності початкового та апроксимованого сигналу як описано, зокрема, в роботі В.О. Гераніна [57]. Для здійснення вейвлет-перетворення необхідними є наступні вимоги:

- 1) Функція материнського вейвлета $\psi(x)$ повинна бути локалізованою (область визначення – обмежена) як в часовому просторі, так і по частоті.
- 2) Функція $\psi(x)$ має бути знакозмінною навколо осі часу.
- 3) Скейлінг-функція $\varphi(x)$ та материнський вейвлет $\psi(x)$ мають задовольняти умови ортогональності.
- 4) Всі вейвлети конкретного сімейства повинні мати ту саму кількість осциляцій, що і базисний вейвлет (отримані за допомогою масштабних перетворень та зсувів).

Для подальшого аналізу обрано метод дискретного вейвлет-перетворення Хаара [57].

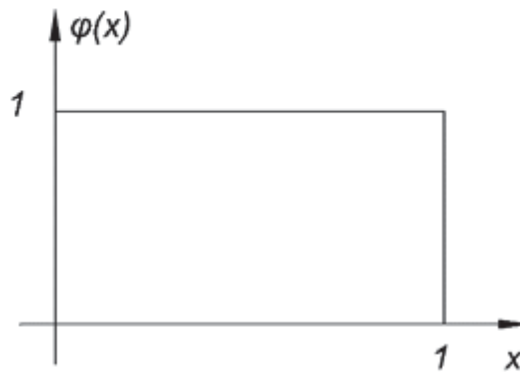


Рис. 2.2 Скейлінг-функція вейвлета Хаара

Вейвлет-перетворення Хаара визначається на інтервалі $N = 2^n$, де n – невід’ємне ціле число. Скейлінг-функція є кінцевою імпульсною характеристикою низькочастотного фільтра розкладання початкового сигналу (рис.2.2). Материнський вейвлет Хаара являє собою кінцеву імпульсну характеристику високочастотного фільтра і визначається формулою:

$$\psi(x) = \begin{cases} 1, & 0 < x < \frac{1}{2} \\ -1, & \frac{1}{2} \leq x \leq 1 \\ 0, & x < 0, x \geq 1 \end{cases} \quad (2.6)$$

Графік функції $\psi(x)$ наведено на рис.2.3

Масштабування та зсув скейлінг-функції та материнського вейвлета Хаара відбувається таким чином:

$$\begin{aligned} \phi_{jk}(x) &= 2_{j/2} \phi(2_j x - k) \\ \psi_{jk}(x) &= 2_{j/2} \psi(2_j x - k) \end{aligned} \quad (2.7)$$

де j – рівень розкладання, значення якого змінюються від максимального до нульового ($j=j_{max}, j_{max}-1, \dots, 0$); k – інтервал розгляду функції на поточному рівні.

Максимальний рівень розкладання визначений довжиною інтервалу N як $j_{max} = n$. Тому, більша кількість відліків у початковому сигналі відповідає більшій кількості можливих рівнів розкладання.

Значення інтервалу розглядання k залежить від рівня j та змінюється $k=0,1,...,2^{j-1}$. Для найвищого рівня $j=j_{max}$ кожен інтервал k містить лише один дискретний відлік функції-оригіналу $y(x)$. Зі зменшенням j збільшується кількість відліків, які об'єднуються в одному інтервалі k , і, відповідно, зменшується кількість самих інтервалів розгляду.

Вейвлет-перетворення сигналу $y(x)$ здійснюється за принципом кратномасштабного аналізу, за схемою на рис.2.4.

При кратномасштабному аналізі дискретна функція $y(x)$ за допомогою набору з двох фільтрів розкладається на одну низькочастотну складову (згладжену функцію апроксимації або тренд, що визначається коефіцієнтами апроксимації $s_{j,k}$) та одну високочастотну складову (функції деталізації або флуктуації, що визначаються коефіцієнтами деталізації $d_{j,k}$). На кожному наступному рівні отримана функція апроксимації, в свою чергу, розкладається на низькочастотну та високочастотну складові за допомогою того самого набору фільтрів, а її інтервал зменшується вдвічі, що відображено блоком «2↓» на рис.2.3. Коефіцієнти деталізації $d_{j,k}$ розраховуються починаючи з $(j_{max}-1)$ -го рівня. Максимальна кількість коефіцієнтів деталізації становить $n-1$. На будь-якому рівні j , крім $j=j_{max}$, для розрахунку як коефіцієнтів апроксимації, так і коефіцієнтів деталізації використовують по два s -коефіцієнти з попереднього рівня $(j+1)$. На рівні j_{max} розраховуються лише коефіцієнти апроксимації:

$$s_{j_{max},k} = \frac{y(\frac{k}{2^{j_{max}}})}{2^{j_{max}/2}} \quad (2.8)$$

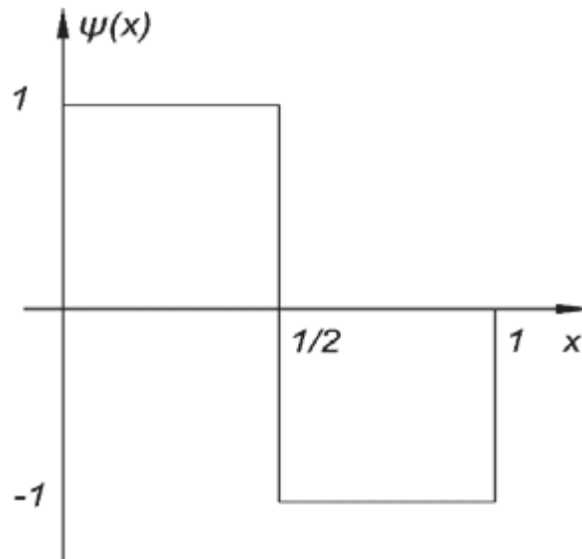


Рис. 2.3 Материнський вейвлет Хаара

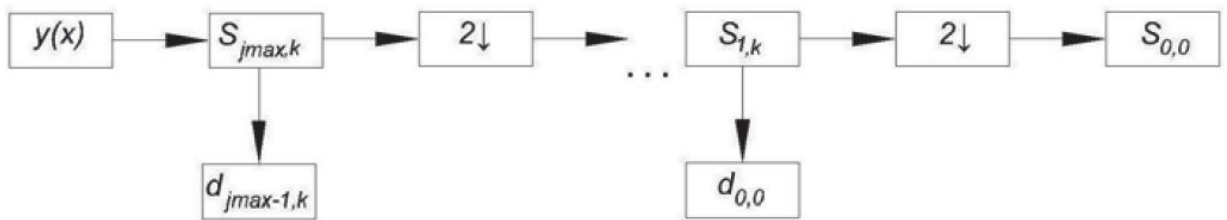


Рис. 2.4 Схема кратномасштабного аналізу вейвлет-перетворення Хаара [56]

При цьому функція-оригінал реконструюється за формулою:

$$y(x) = \sum_{k=0}^{2^{j_{\max}-1}} S_{j_{\max},k} \phi_{j_{\max},k}(x) \quad (2.8)$$

Існує як пряме, так і зворотнє вейвлет-перетворення (розкладання та реконструкція початкової функції $y(x)$).

Формули прямого вейвлет-перетворення Хаара для двох фільтрів мають вигляд:

$$s_{j-1,k} = \frac{1}{\sqrt{2}} \varphi(x) \cdot S_j \quad (2.9)$$

$$d_{j-1,k} = \frac{1}{\sqrt{2}} \psi(x) \cdot S_j \quad (2.10)$$

де $S_j = \begin{bmatrix} S_{j,2k} \\ S_{j,2k+1} \end{bmatrix}$ – вектор-колонка s -коефіцієнтів j -го рівня.

Рекурентні формули (2.9), (2.10) на рівні $(j-1)$ можна представити у матричному вигляді:

$$\Omega_{j-1} = \begin{bmatrix} s_{j-1,0} & s_{j-1,1} & s_{j-1,2} & \dots & s_{j-1,2^{j-1}-1} \\ d_{j-1,0} & d_{j-1,1} & d_{j-1,2} & \dots & d_{j-1,2^{j-1}-1} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} s_{j,0} & s_{j,2} & \dots & s_{j,2k} & \dots & s_{j,2^j-2} \\ s_{j,1} & s_{j,3} & & s_{j,2k+1} & & s_{j,2^j-1} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

На максимальному рівні $j=j_{max}$ рекурентна формула (2.11) включає лише коефіцієнти апроксимації та зводиться до вектор-рядка.

2.3. Метод керування електроспоживанням і його прогнозування за допомогою дискретного Вейвлет-перетворення Хаара

Аналіз характеристик електроспоживання локальних об'єктів, насичених великою кількістю різного за типом електротехнічного обладнання зумовлює вирішення задач прогнозування значень енергії споживання. Завдання це достатньо складне і досліджень, які пропонують різні шляхи розв'язання проблеми, на сьогодні небагато. Назвемо, наприклад, праці Дуброва Ю., Дубровського С.В., Кобріна П.П. [58], [59]. Випадковий характер вмикання пристроїв призводить до появи стрибків характеристики, врахування моментів появи та величини яких ускладнює процес прогнозування і з великою вірогідністю призводить до хибного результату. Тому необхідним попереднім етапом при прогнозуванні є фільтрація характеристики з метою згладжування різких стрибків.

Можна вирішити цю задачу так, як пропонується у посібнику Ямненко Ю.С., із застосуванням дискретного вейвлет-перетворення Хаара, результатом якого в залежності від рівня розкладання є згладжена в більшому або меншому ступені усереднена характеристика – тренд, яка в подальшому використовується для прогнозування. [9]

Існує можливість використати для прогнозування два підходи, кожний з яких містить попередній етап вейвлет-аналізу характеристики електроспоживання:

1. Прогнозування на основі вейвлет-перетворення та нейронних мереж.
2. Прогнозування на основі вейвлет-перетворення та теорії класифікації.

Результати прогнозування є підставою для вироблення сигналів керування пристроями локального об'єкту, які можуть формуватися за одним або декількома з наступними принципами з метою формування бажаного графіку споживання та уникнення неприпустимого перевищення споживання електроенергії:

- зменшення рівня споживання шляхом тимчасового вимикання споживачів;
- введення часових зсувів моментів комутації;
- зменшення потужності живлення [9].

Етапи двох способів прогнозування зображено на рис.2.5.

Блок вейвлет-перетворення виконує функції фільтрації високочастотних флуктуацій, які присутні на початковій характеристиці, та стиснення даних – на кожному рівні глибини розкладання кількість дискретних відліків функції оригіналу зменшується в m разів.



Рис. 2.5 Етапи утворення прогнозованої характеристики електроспоживання локального об'єкту

Бажано обирати такий порядок вейвлету і рівень розкладання при прогнозуванні значень характеристики електроспоживання локального об'єкту, щоб, з одного боку, уникнути втрати характерних особливостей функції в результаті розкладання, а з іншого, забезпечити швидкодіюче функціонування нейронної мережі або алгоритму розкладання та зменшити обсяг пам'яті для зберігання бази даних характеристик, що використовуються для класифікації.

Після апроксимації за допомогою вейвлет-перетворення функція повинна задовольняти двом наступним умовам:

- 1) достатній рівень подібності до початкової характеристики, що досліджується, із зберіганням її характерних особливостей;
- 2) невелика кількість відліків, оскільки більша розмірність вхідного вектору веде до збільшення тривалості навчання нейромережі та збільшення часу обробки бази даних характеристик, і як наслідок – до зниження

можливостей прогнозування локальних особливостей та збільшення обсягу обчислень.

Оскільки приведені умови вступають у протиріччя, необхідно шукати компроміс між вимогами точності прогнозування та обчислювальними витратами.

Від властивостей функції залежить вибір порядку і рівень розкладання вейвлета. Більш гладкі вейвлети утворюють і більш гладку апроксимовану функцію, а вейвлети з гострими піками дозволяють більш точно встановити моменти появи та амплітуду піки функції, що апроксимується.

Рівень розкладання визначає рівень деталізації функції. На найменшому рівні (максимальний інтервал розглядання, що дорівнює інтервалу визначення початкової функції) присутні всі високочастотні флуктуації функції, із збільшенням рівня розкладання збільшується амплітуда флуктуацій, які відокремлюються від апроксимованої функції. Якщо надалі збільшувати рівень, результат вейвлет-перетворення втратить інформацію про форму початкової функції, фільтруватиметься не тільки шум, але і локальні особливості та піки функції. Вибір вейвлет-перетворення обумовлений наступними вимогами:

- дискретність аналізованої функції;
- мінімально можлива кількість обчислювальних операцій для досягнення необхідного ступеня фільтрації;

Для оптимальної роботи алгоритмів вейвлет-перетворення Хаара потрібно, щоб часовий ряд, що піддається перетворенню, містив парну кількість відліків [60]. Інакше програмно реалізується штучне додавання одного відліку, що приводить до збільшення часу роботи алгоритму.

Для вибору рівня розкладання, а отже, і рівня згладження та стиснення характеристики, розраховується коефіцієнт подібності R_{xy} [61] апроксимованої функції та функції-оригіналу:

$$R_{y-y_{AP}} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i y_{AP} - \bar{y} \cdot \bar{y}_{AP}}{\sigma_y \sigma_{y_{AP}}} \quad (2.12)$$

де y - функція-оригінал, y_{AP} - апроксимована функція, \bar{y} та \bar{y}_{AP} – середні значення цих функцій,

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}, \quad \sigma_{y_{AP}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_{APi} - \bar{y}_{AP})^2}, \quad (2.13)$$

На основі теорії класифікації за допомогою бінарних відносин еквівалентності та булевих матриць з'являється можливість проведення класифікації характеристик електроспоживання, пошуку характеристик по заданих номінальних та рангових ознаках та знаходження найбільш «близких» одна одній характеристик [62], [63], [64].

Зберігання часових залежностей електроспоживання у базі даних для прогнозування поточного споживання є недоцільним, оскільки наявність випадкових флуктуацій ускладнює прогнозування та навіть може призвести до хибного прогнозу. Тому необхідно попереднє згладження характеристик. Вейвлет-перетворення дозволяє вирішити цю задачу, одночасно зменшуючи кількість відліків та, відповідно, обсяг пам'яті, необхідний для зберігання бази даних. Крім того, кратномасштабний аналіз дає можливість оперувати з характеристиками електроспоживання на різних масштабах часу із змінним кроком дискретизації. Наприклад, у інтервали пікового споживання, прогнозування має здійснюватися з меншим кроком для більш оперативного внесення коректувань в алгоритм керування.

В результаті вейвлет-аналізу різних характеристик споживання (для різних пір року, робочих та вихідних днів, особливостей функціонування та режимів роботи локального об'єкту) формується база даних їх вейвлет-коефіцієнтів. На підставі оцінки міри близькості поточної характеристики та всіх характеристик з накопиченої бази даних обирається найбільш подібна до

поточної характеристика, значення якої приймаються як прогнозовані у наступному такті керування.

Для пошуку в базі даних подібних до поточної характеристик споживання використовуються вейвлет-зображення частини характеристик в деякому інтервалі часу перед поточним моментом.

Алгоритм класифікації складається з наступних етапів:

- 1) вимірювання характеристик електроспоживання для заповнення бази даних;
- 2) обчислення вейвлет-зображень характеристик існуючої бази даних за допомогою дискретного спектрального вейвлет-перетворення;
- 3) класифікація бази даних вейвлет-зображень характеристик електроспоживання по відношенню до поточної характеристики та прогнозування значень енергії споживання у найближчій момент або інтервал.

Докладний алгоритм класифікації (рис.2.6) дозволяє формувати базу даних характеристик та їх вейвлет-зображень. Для проведення класифікації формується пакет булевських матриць номінальних або рангових ознак [86,87] $p = |p_{ij}|$, $i, j = \overline{1, K}$, де p_{ij} приймають значення 0 або 1 для кожної з характеристик:

$$P = \begin{vmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1N} \\ \cdots & & \cdots \\ p_{N1} & \cdots & p_{NN} \end{vmatrix}$$

Кожний елемент матриці номінальних ознак приймає значення $p_{ij} = 1$, якщо об'єкти i і j мають однакові значення ознаки, тобто попадають в один і той же клас відповідного розбиття:

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i \neq j. \end{cases} \quad (2.14)$$

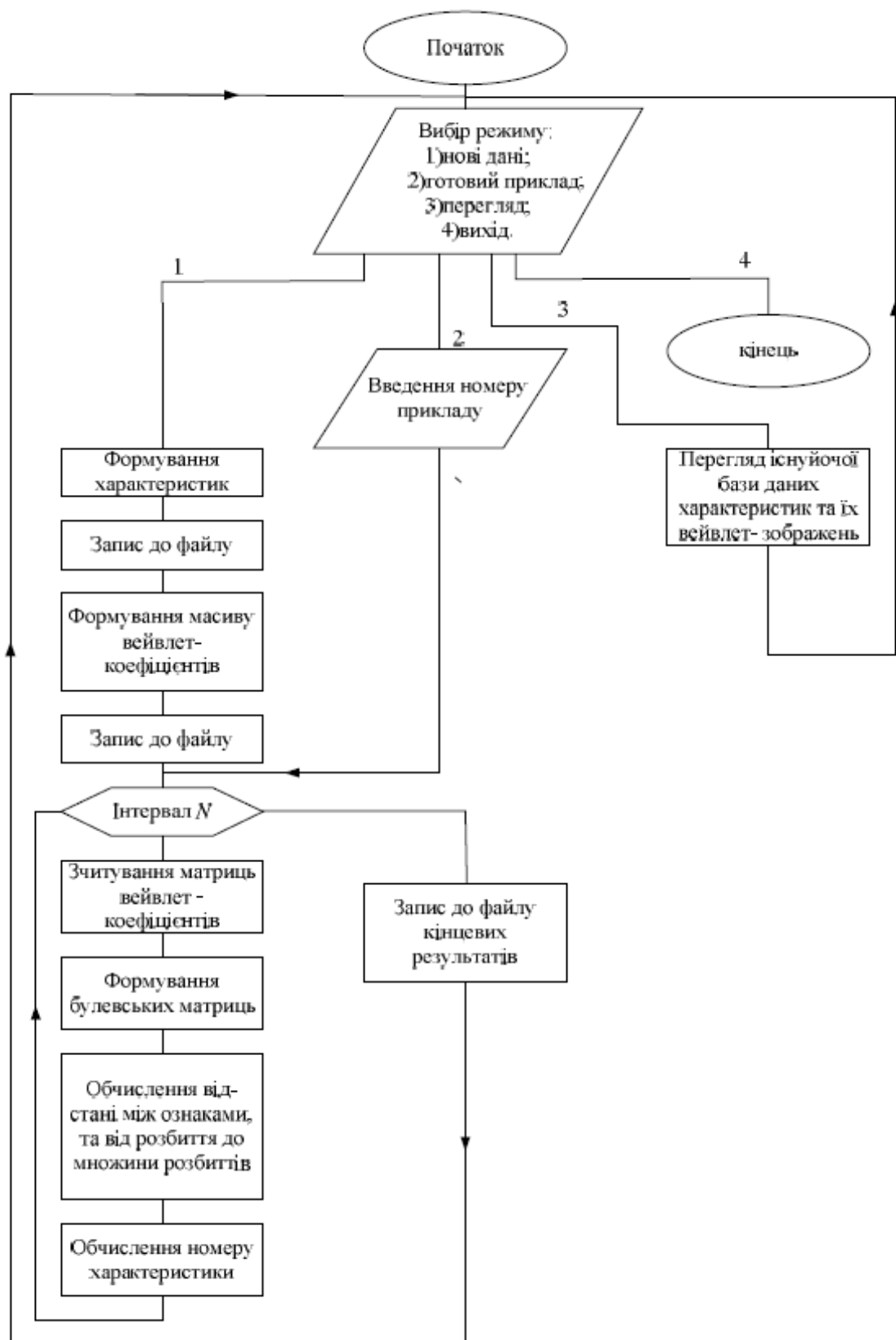


Рис. 2.6 Алгоритм програми аналізу характеристик електроспоживання [9]

Елемент матриці рангових ознак приймає значення $p_{ij}=1$, якщо міра появи ознаки у об'єкта i не нижче, ніж у j :

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, i \geq j \\ 0, i < j. \end{cases} \quad (2.15)$$

Після розбиття характеристик електроспоживання на класи, для зменшення часу прогнозування розрахунок мір близькості з поточною характеристикою проводиться лише для характерних "представників" кожного класу, а не для всіх характеристик [65]. З пакету сформованих номінальних або рангових матриць для поточної характеристики формуються узагальнені класифікаційні матриці $\mathbf{P}_{y3j_{max}-1}, \dots, \mathbf{P}_{y30}$ розмірністю $K \times N$, де K – кількість характеристик, з якими проводиться порівняння, $N = m^j$ – кількість відліків характеристики апроксимації на кожному j -му рівні розкладання вейвлет-аналізу:

$$P_{y3j} = \begin{bmatrix} p_{y310} & \cdots & p_{y31N} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{y3K0} & \cdots & p_{y3KN} \end{bmatrix}, j = \overline{j_{max}-1, 0}, \quad (2.16)$$

Кількість узагальнених матриць дорівнює кількості рівнів розкладання вейвлет-перетворення. Остання матриця для нульового рівня розкладання є вектор-колонкою розмірністю $K \times 1$.

Отримані узагальнені матриці застосовуються для визначення відстаней – мір близькості поточної характеристики з характеристиками $1, 2, \dots, K$, що містяться у базі даних. Елементи a_{ij} матриці відстаней \mathbf{A} для поточної характеристики визначаються як сума елементів кожного рядка узагальнених матриць $\mathbf{P}_{y3j_{max}-1}, \dots, \mathbf{P}_{y30}$:

$$A = \begin{vmatrix} a_{1_{j_{\max}-1}} & \cdots & a_{10} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{K_{j_{\max}-1}} & \cdots & a_{K0} \end{vmatrix},$$

$$a_{1_{j_{\max}-1}} = \sum_{i=0}^{m_{j_{\max}-1}-1} p_{y310}, \cdots, a_{K_{j_{\max}-1}} = \sum_{i=0}^{m_{j_{\max}-1}-1} p_{y3K0}, \cdots,$$

$$a_{10} = p_{y310} \Big|_{j=0}, \cdots, a_{K0} = p_{y3K0} \Big|_{j=0}$$

Після формування матриці **A** виконується підсумування елементів кожного її рядка, в результаті чого формується вектор-колонка сумарних мір близькості розмірністю $K \times 1$:

$$A_{y3} = \begin{vmatrix} a_{\Sigma 1} \\ \cdots \\ a_{\Sigma K} \end{vmatrix}, a_{\Sigma 1} = \sum_{i=j_{\max}-1}^0 a_{1i}, \cdots, a_{\Sigma K} = \sum_{i=j_{\max}-1}^0 a_{Ki}. \quad (2.17)$$

Найбільш «близькою» до поточної є характеристика електроспоживання, номер якої є номером рядка, що містить максимальне зі значень $a_{\Sigma 1}, \dots, a_{\Sigma K}$. Значення цієї характеристики на наступному етапі приймаються як прогнозовані та використовуються для вироблення сигналів керуючого впливу [9].

Висновки до другого розділу

Проведено огляд різних методів реалізації прогнозування енергоспоживання, зокрема визначено дискретне вейвлет-перетворення Хаара як найбільш підходяще.

Розділ 3. РОЗРОБКА МАКЕТУ ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТУ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ

3.1. Розробка алгоритму вейвлет-перетворення для схеми експериментального макету

Для створення алгоритму використовуватиметься програма Matlab.

Спершу буде створено базу даних еталонних графіків для того щоб не перевантажувати пам'ять контролера та зменшити кількість операцій порівняння і, як наслідок, час виконання. Для цього необхідно здобути добові графіки з бази даних річного споживання електричної енергії для якогось локального об'єкту. В програмі ці графіки буде піддано вейвлет-перетворенню Хаара, а потім розбито по групам будніх і вихідних днів кожної пори року далі необхідно знайти усереднені графіки для кожної з цих груп. В результаті отримаємо еталонні графіки, які використовуватимуться для порівняння.

У процесі роботи система аналізуватиме поточне споживання енергії, ділянки графіку піддаватиме вейвлет-перетворенню і порівнюватиме з такими ж відрізками на еталонних графіках. В разі схожості, яка буде додатково визначена, система зможе спрогнозувати подальше споживання електрики та прийняти міри для оптимізації. Наприклад, розвести у часі запуски декількох електроприладів щоб не перевантажувати систему, або запустити їх раніше чи пізніше в разі якщо їх пуски все одно заплановані, але зараз більш сприятливий стан генерації, або тариф на електроенергію, регулювати потужність живлення.

На рис. 3.1. показано похвилинний добовий графік споживання електричної потужності, побудований у середовищі MatLab R2018b за даними, знятими трифазним енергомонітором D103 протягом 19 листопада 2018 року, що були надані представником команди стартапу Smart-MAC.

Потім дані були піддані дискретному перетворенню Хаара з різним рівнем розкладання (рис 3.2 а-е).

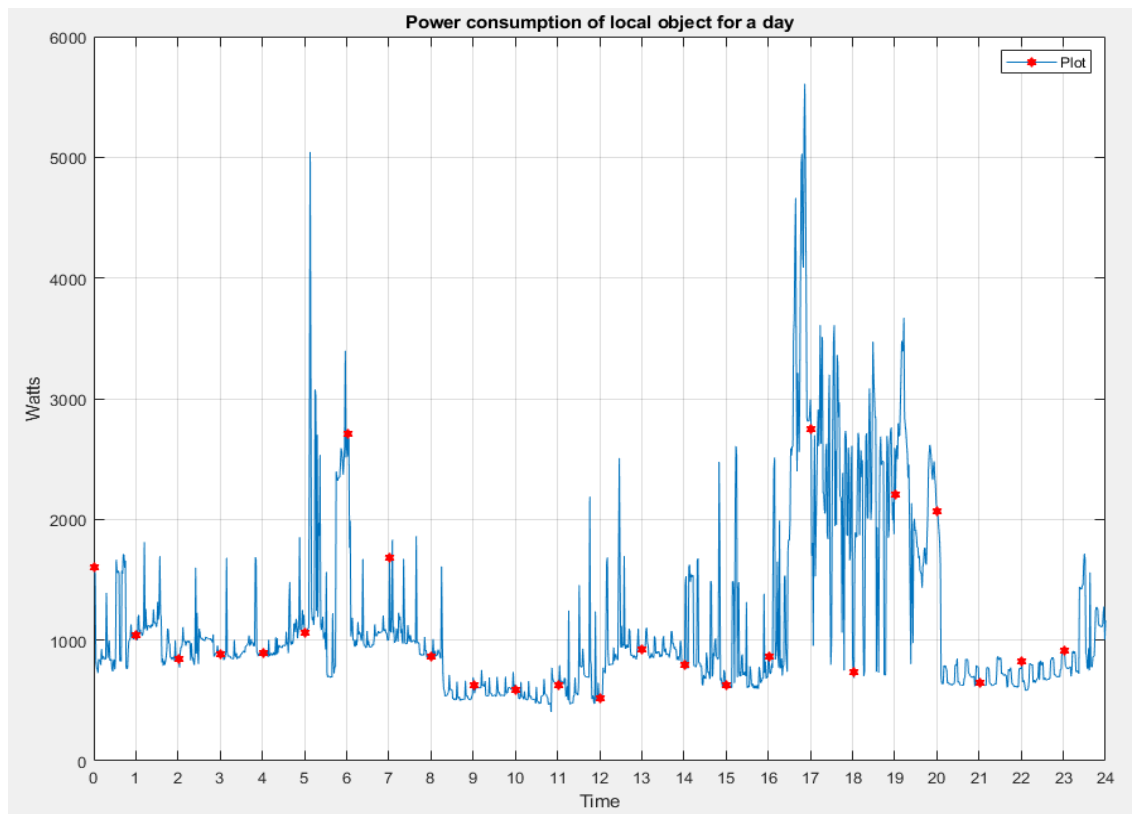


Рис. 0.1 Графік електроспоживання з трифазного енергомонітора D103 за 19.11.2018

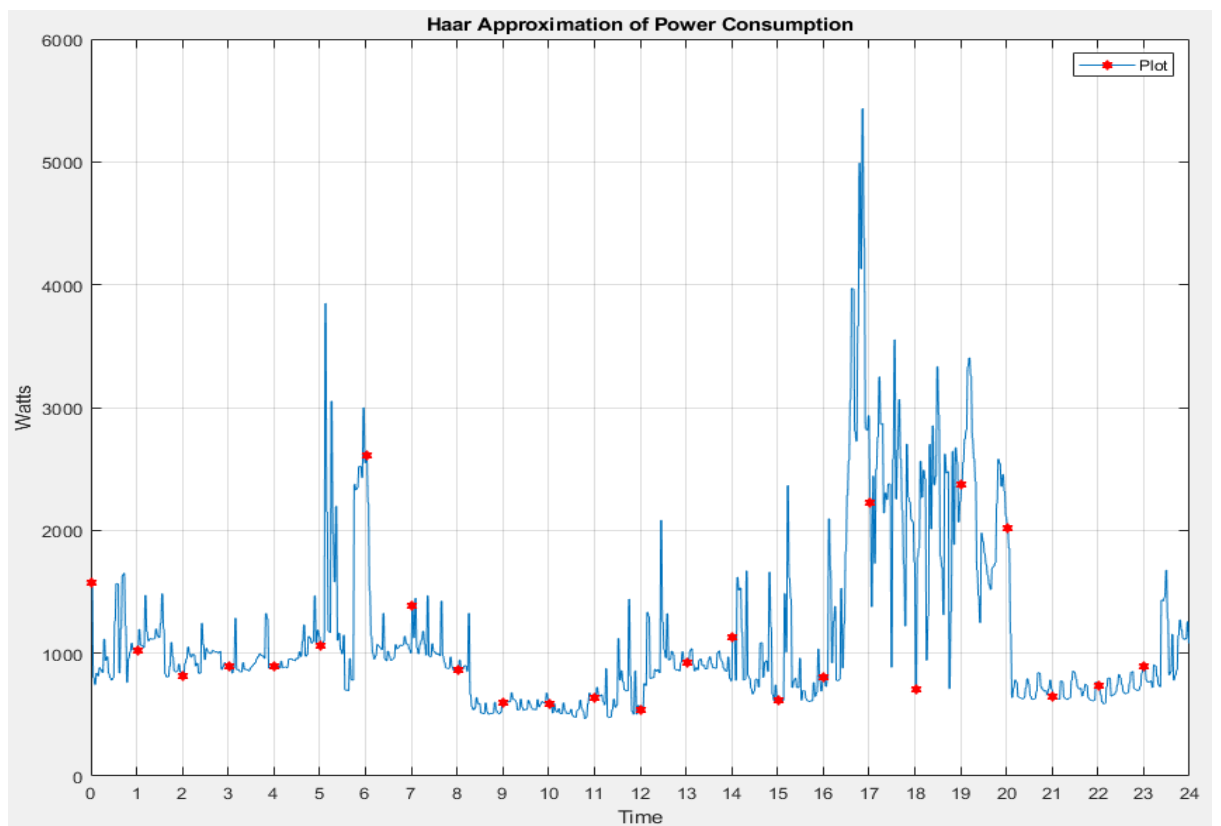


Рис. 0.2 а) Вейвлет-перетворення 1-го рівня розкладання

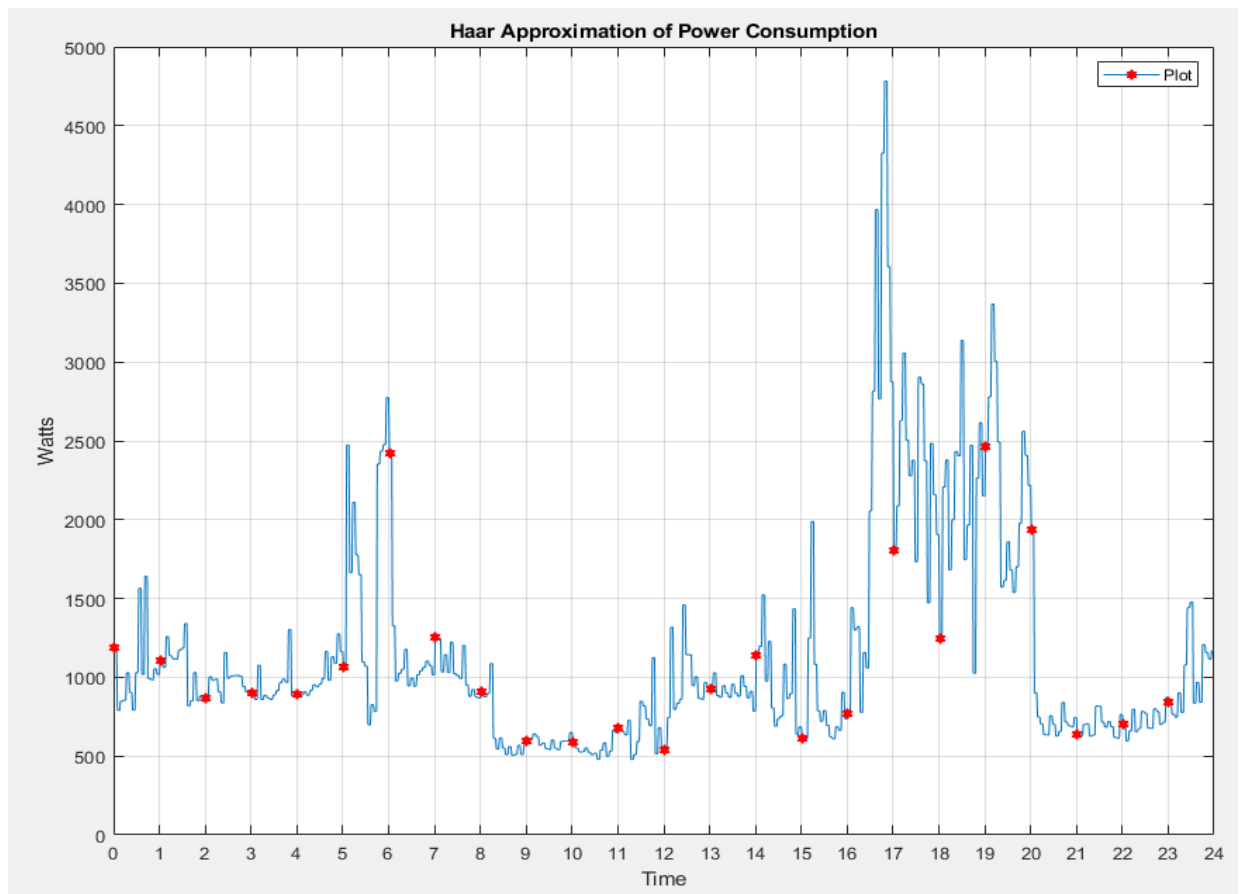


Рис. 0.2 б) Вейвлет-перетворення 2-го рівня розкладання

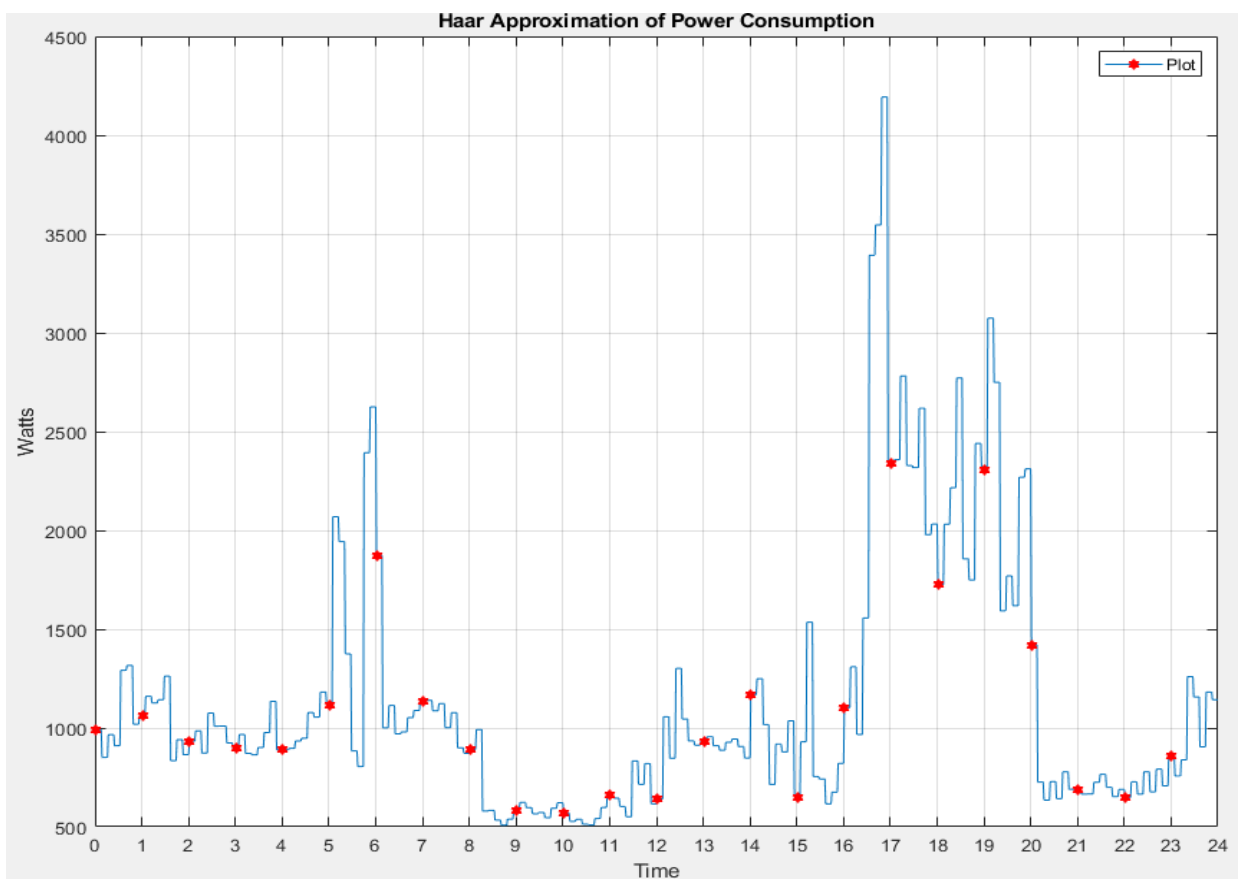


Рис. 0.2 в) Вейвлет-перетворення 3-го рівня розкладання

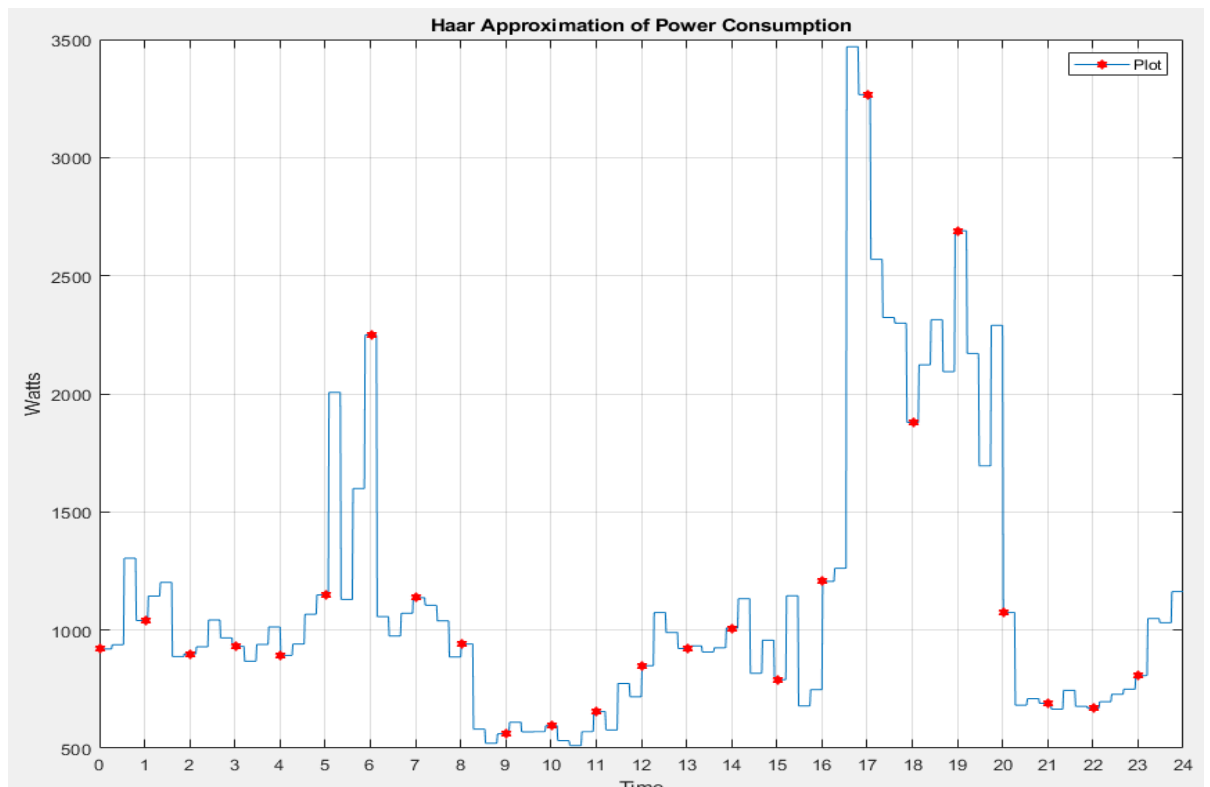


Рис. 3.2. г) Вейвлет-перетворення 4-го рівня розкладання

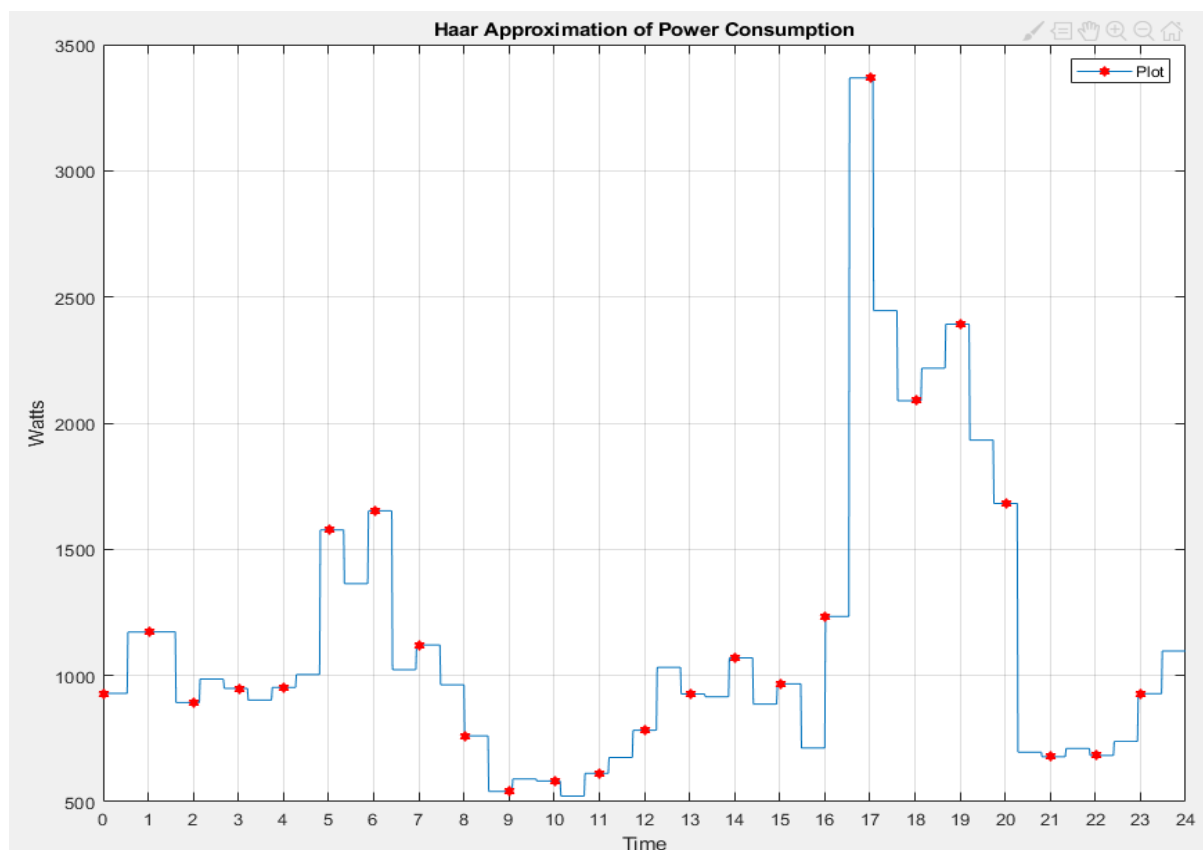


Рис. 3.2 д) Вейвлет-перетворення 5-го рівня розкладання

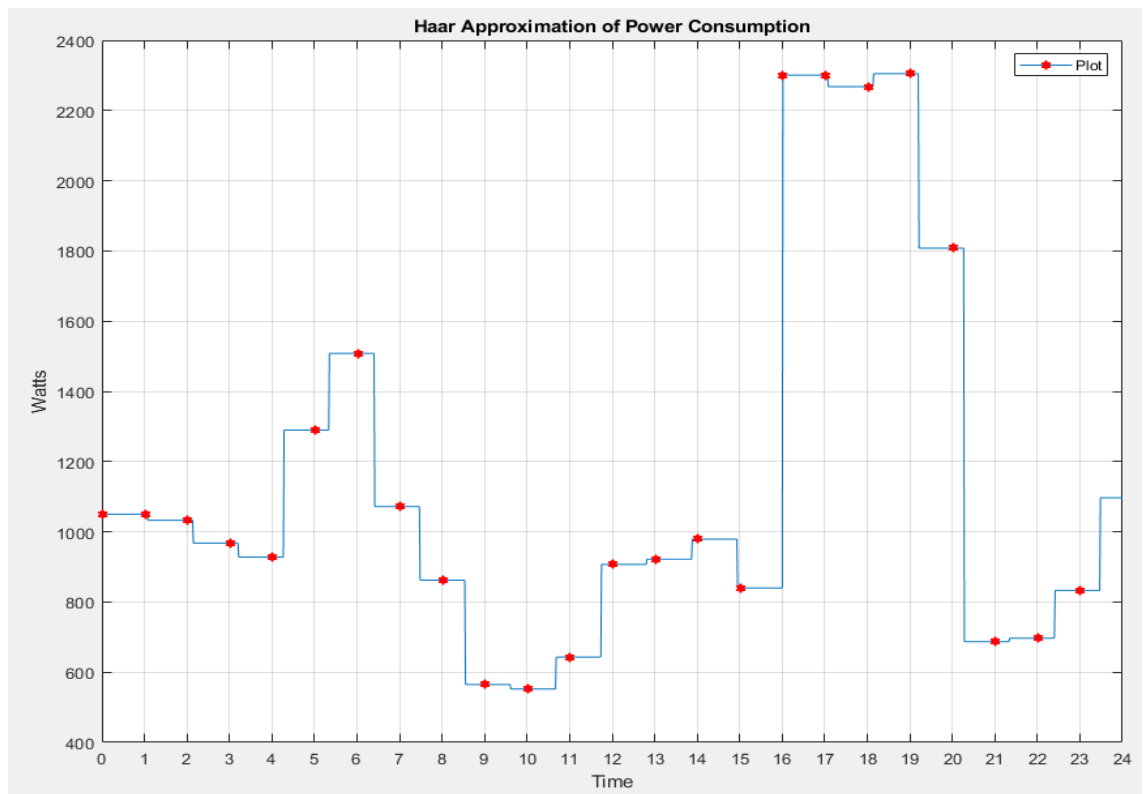


Рис. 3.2 е) Вейвлет-перетворення 6-го рівня розкладання

Неозброєним оком досить явно помітно значний стиск часового ряду після 4-го рівня, тож провівши аналіз графіків кожного рівня розкладання за допомогою формули 2.12 було визначено, що після значення 0,93 (рис. 3.3) зростає крутизна графіку, тому саме цей рівень є максимально припустимим для даного часового ряду. Однак, взятий буде саме 2-й рівень розкладання, оскільки для нього достатньо починати з 8-ми вимірювань і проводити розкладання маючи завжди кількість вимірювань, яка є арифметичною прогресією зі знаменником 8. Для використання 3-го рівня розкладання необхідно ініціювати алгоритм вдвічі рідше – на кожне 16-те вимірювання, а таке зменшення частоти вже втрачає сенс.

На цьому рівні вже виключені випадкові високочастотні флуктуації і в той же час зберігаються особливості основного тренду характеристики. На кожному рівні розкладання кількість відліків зменшується вдвічі.

Порівняння характеристик програмно буде здійснюватися шляхом знаходження коефіцієнтів кореляції між фрагментом з поточної характеристики та всіма еталонними характеристиками. Характеристика, яка найбільше наближатиметься до 1 за побічною діагоналлю і буде обрана для прогнозування. Допоможе в цьому вбудована в MatLab функція $\text{corrcoef}(x(n), y(n))$.

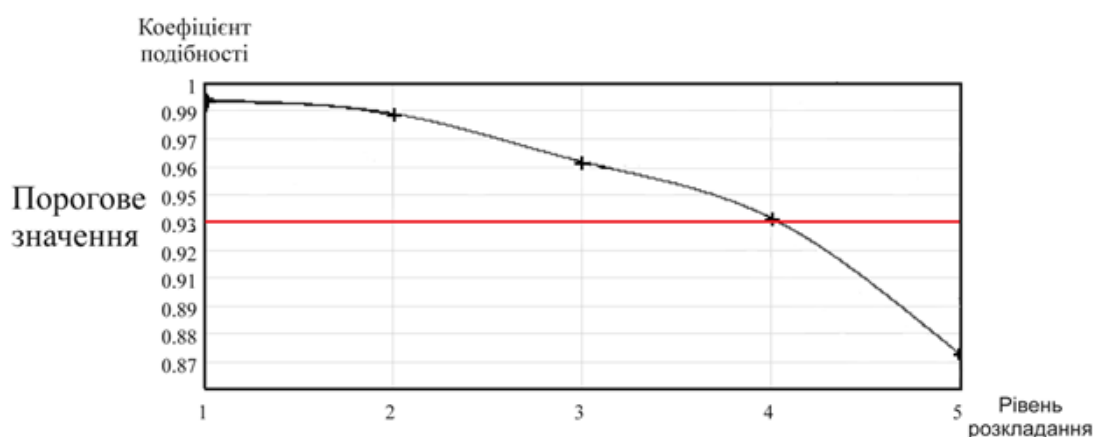


Рис. 0.3 Залежність коефіцієнта подібності часового ряду від рівня розкладання

На рис. 3.4 показані три коефіцієнти взаємопорівнянь між поточною та трьома різними характеристиками енергоспоживання з бази даних. За результатами порівняння буде обрано функцію з першого стовпчику.

1.0000	0.6789	1.0000	-0.2060	1.0000	0.0336
0.6789	1.0000	-0.2060	1.0000	0.0336	1.0000

Рис. 3.4. Коефіцієнти кореляції трьох характеристик.

Пропонується організувати алгоритм роботи програми за таким принципом (рис 3.6) :

0) Якщо напруга просіла до критичного значення і це загрожує роботі приладів найвищого рівня ієрархії, то не дочекаючись наслідків роботи алгоритму підключається додаткова батарея;

1) кожні 8 хвилин з пам'яті беруться всі наявні значення енергоспоживання за поточну добу;

2) ці значення піддаються вейвлет-перетворенню Хаара обраного порядку, завдяки чому прибираються всі випадкові і хаотичні флуктуації і підвищується точність прогнозу [9];

3) отриманий графік порівнюється з відповідними періодами усіх еталонних графіків, які є в пам'яті за допомогою функції кореляції;

4) обирається еталонний графік, фрагмент якого був найбільше схожий на поточний (значення побічного коефіцієнту було найбільшим);

а) якщо на еталонному графікові в майбутні 8 хвилин від поточної точки t_0 (рис. 3.5) очікується різкий ріст або спад споживання, тоді мікроконтролер підключає/відключає необхідну кількість батарей залежно від величини цього піку;

(а) якщо батареї підключені, але прогнозованої зміни споживання не відбулось, відмінити підключення/відключення батарей.

б) якщо ж піку не очікується, тоді нічого не відбувається.

Очікування росту або спаду споживання, описаний у пункті а) визначається шляхом порівняння середнього значення енергоспоживання на проміжку $t_1 - t_0 = T$ із значенням безпосередньо в точці t_0 .

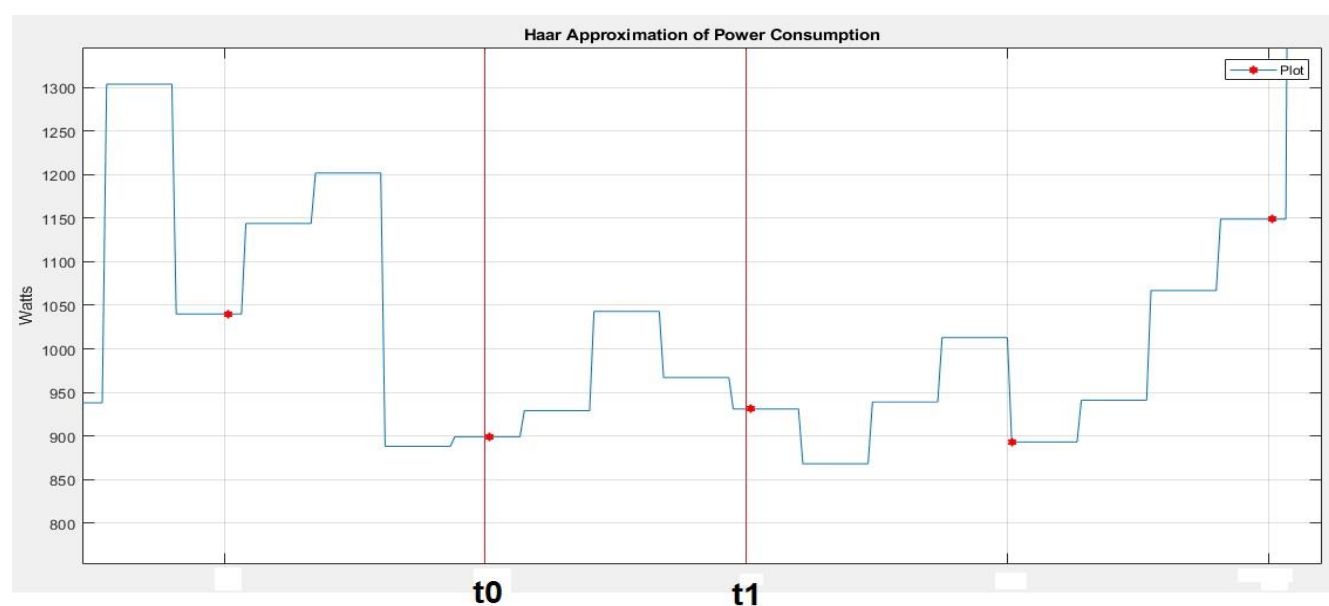


Рис. 3.5 Інтервал, на якому здійснюється прогнозування

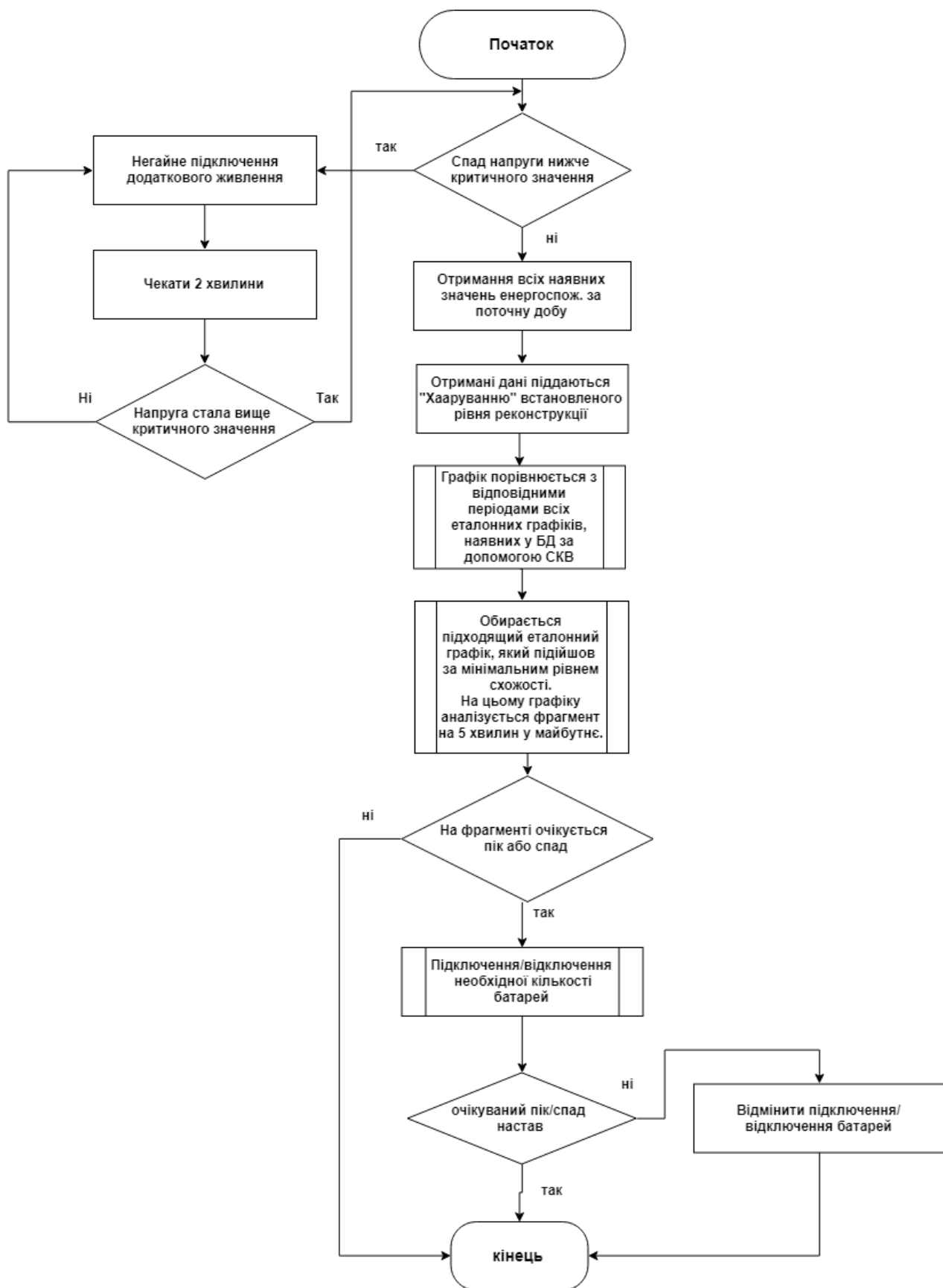


Рис. 0.6 Алгоритм роботи системи

3.2. Розробка принципової схеми

Макет повинен зображувати приватний житловий будинок (рис 3.7), в якому в ролі навантаження встановлені різні імітації або моделі електроприладів, мініатюрні генератори електроенергії і система керування електроспоживанням.

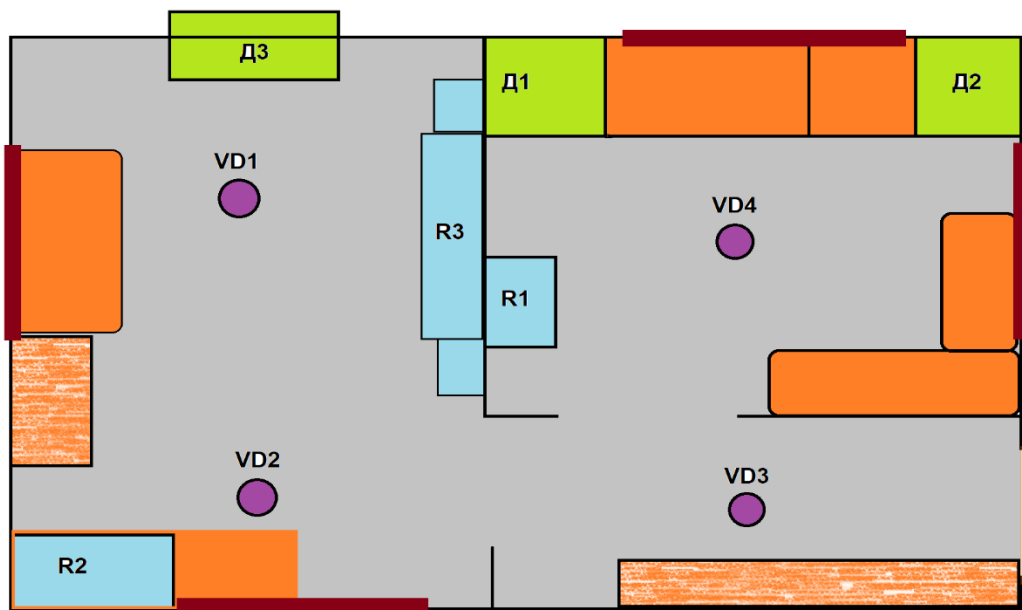


Рис. 0.7 План локального об'єкту

Однак, сама система є масштабною і алгоритм може застосовуватись також і для більш великорозмірних локальних об'єктів та мікромереж.

1. Якщо будинок цілком електрифікований.

Навантаження:

- Світлодіоди
- Спіраль нагрівання, яка імітує електроопалення.
- Рідкокристалічний дисплей, що імітує телевізор
- зарядний пристрій із встановленою батареєю, що імітує акумуляторну батарею повноцінного будинку

- мініатюрні динаміки, що імітують звукову систему
- електродвигун, що імітує холодильник, кондиціонер, пральну машинку.

- набір резисторів, підібраних пропорційно до реальних номіналів електроприладів для імітації комп'ютера/ноутбука, мікрохвильової печі, бойлера, електроплити.

2. Якщо плита, опалення і гаряча вода використовують інше джерело енергії (газ, геотермальна, сонячні колектори, твердопаливний котел).

- Світлодіоди
- Рідкокристалічний дисплей, що імітує телевізор
- Зарядний пристрій із встановленою батареєю, що імітує акумуляторну батарею повноцінного будинку.

- Мініатюрні динаміки, що імітують звукову систему
- Електродвигун, що імітує холодильник, кондиціонер, пральну машинку.

- Набір резисторів, підібраних пропорційно до реальних номіналів електроприладів для імітації комп'ютера/ноутбука, мікрохвильової печі.

Джерела генерації:

- Фотовольтаїчна панелі з інвертором змінної напруги
- Мініатюрний вітрогенератор

Ієрархічний розподіл навантаження виглядає так:

- 1 група, найвищий пріоритет – Холодильник, Комп'ютер, пральна машинка (якщо працює);
- 2 група – все інше.

На рис.3.8 представлено принципову схему макету системи, в якій функціонує алгоритм, що на основі співставлення рівня поточного електроспоживання з декількома еталонними графіками прогнозує електроспоживання приладами локального об'єкту і виконує керування

потужністю електроживлення локального об'єкту за струмом при сталій напрузі. Схема створена у програмі Fritzing.

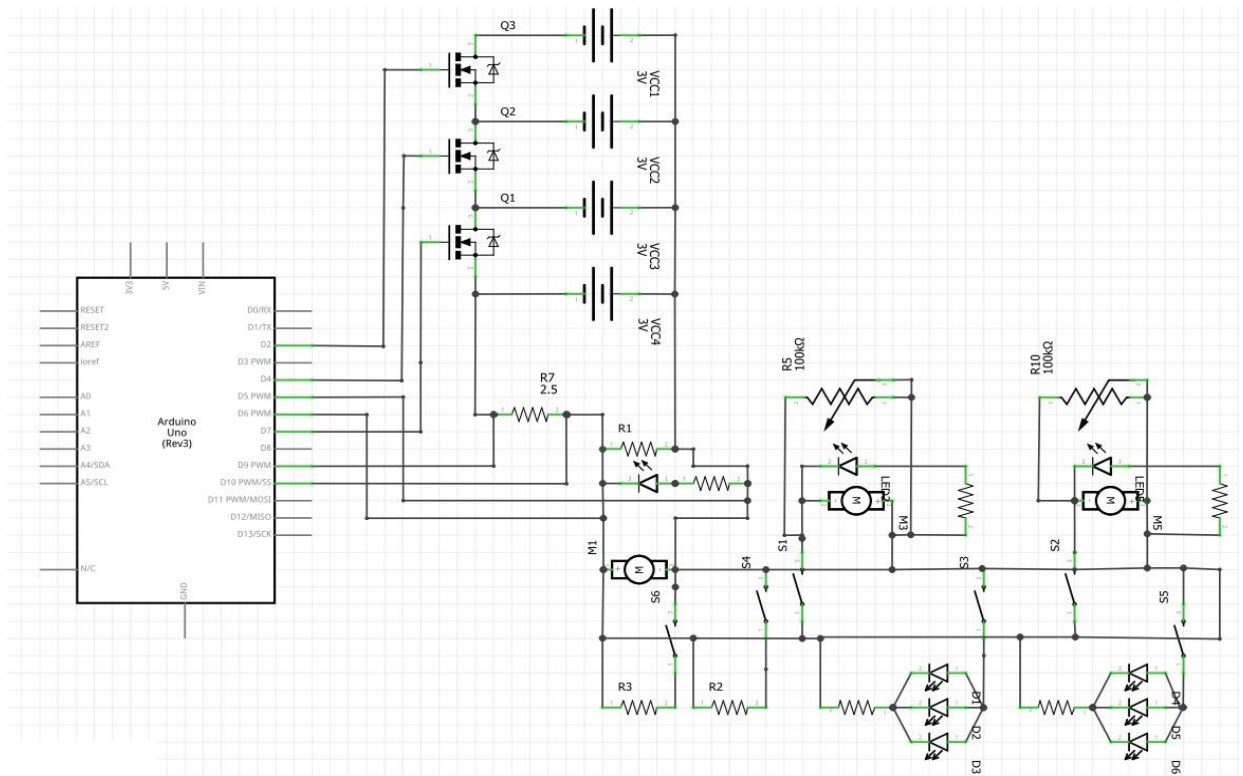


Рис. 0.8 Принципова схема макету

Всі джерела генерації (фотовольтаїчні панелі, вітрогенератори, двигуни стірінга, парові котли, газові турбіни тощо) підключаються до керованих акумуляторних батарей за допомогою окремих зарядних пристроїв (на схемі не показані і в макеті не реалізовані). Система керування (мікроконтролер Arduino Uno) після аналізу поточного електроспоживання на основі прогнозу, здійсненого за допомогою вейвлет-перетворення може підключати або відключати паралельно додаткові акумуляторні батареї за допомогою ключів Q1-Q3, здійснюючи таким чином керування потужністю за струмом при сталій напрузі і не допускаючи її просядок або зростань і забезпечуючи, таким чином, ефективність споживання електроенергії.

Напруга та струм вимірюються широтно-імпульсним модулятором мікроконтролера. Ця інформація опрацьовується щохвилини і за формулою

$P = UI$ будується графік поточного споживання електричної енергії, а кожен вимір записується в пам'ять. Кожні 10 хвилин ініціалізується алгоритм, описаний у розділі 3.1.

Керування здійснюється мікроконтролером. Графік поточного електроспоживання перед порівнянням піддається обробці вейвлет-перетворенням Хаара [9]. Еталонні графіки з бази даних зберігаються у пам'яті мікроконтролера і уже є попередньо підданими вейвлет-перетворенню.

Макет повинен зображувати приватний житловий будинок, в якому в ролі навантаження встановлені різні імітації або моделі електроприладів, мініатюрні генератори електроенергії і система керування електроспоживанням.

Сама система є масштабовною і може застосовуватись також і для більш великорозмірних локальних об'єктів та мікромереж.

Макет виконаний з урахуванням, що опалення і гаряча вода використовують інше джерело енергії (газ, геотермальна, сонячні колектори, твердопаливний котел).

Номінали модельованих приладів взяті у масштабі 1:1000

- Світлодіодне освітлення: D1-D3, D4-D6, LED-лампи по 0,01 Вт;
- VCC1-VCC4 - акумуляторні батареї, 3,7 В, 800 мАг;
- Електродвигуни, що імітують холодильник (M1), кондиціонер(M3), пральну машину (M5) з реостатами для підлаштування та індикаторними світлодіодами. 0,5 Вт, 2 Вт, 3,5 Вт відповідно;
- Набір резисторів, підібраних пропорційно до реальних номіналів електроприладів для імітації комп'ютера (R1), мікрохвильової печі (R2), телевізора і аудіосистеми (R3). 0,6 Вт, 0,85 Вт, 0,17 Вт.

Розрахунок струмів і опорів приладів

$$I = \frac{P}{U}$$

Мікрохвильова піч: $I = \frac{0.85 \text{ Вт}}{3.7 \text{ В}} = 0.23 \text{ А}; R2 = \frac{U}{I} = \frac{3.7}{0.23} = 16.1 \text{ Ом}$

Комп'ютер: $I = \frac{0.6 \text{ Вт}}{3.7 \text{ В}} = 0.16 \text{ А}; R1 = \frac{U}{I} = \frac{3.7}{0.16} = 23.2 \text{ Ом}$

Холодильник: $I = \frac{0.5 \text{ Вт}}{3.7 \text{ В}} = 0.136 \text{ А};$

Пральна машинка: $I = \frac{3.5 \text{ Вт}}{3.7 \text{ В}} = 0.95 \text{ А};$

Кондиціонер: $I = \frac{2 \text{ Вт}}{3.7 \text{ В}} = 0.55 \text{ А};$

Телевізор і аудіосистема: $I = \frac{0.17 \text{ Вт}}{3.7 \text{ В}} = 0.045 \text{ А}; R3 = \frac{3.7}{0.045} = 82.2 \text{ Ом}$

Освітлення: $I = \frac{0.06 \text{ Вт}}{3.7 \text{ В}} = 0.162 \text{ А}; R = \frac{3.7}{0.162} = 22.8 \text{ Ом}$

Сумарний струм: 2071 мА.

З подібними батареями, сумарний максимальний струм яких $4 \cdot 800 \text{ мА} = 3200 \text{ мА}$, їх заряду вистачить на приблизно 1,5 години, що є незадовільним. Вочевидь, у реальних системах батареї повинні забезпечувати не менше 10 годин пікового споживання, тому мінімальна необхідна ємність батарей для макету повинна складати приблизно 20 Ампер*годин, але для відпрацювання алгоритму, на нашу думку, вистачить і такої кількості заряду.

Висновки до третього розділу

Створено алгоритм, визначено параметри необхідні для порівняння характеристик, прогнозування електроспоживання. Розроблено принципову схему, план, розраховано номінали необхідних елементів для макету системи прогнозування електроживлення та керування ним.

Розділ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартап, як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва, впродовж останнього десятиліття набула надзвичайно широкого поширення у світі через зниження бар'єрів входу на ринок. Зумовлено це появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту, тому стало простіше займатись пошуком ресурсів, знаходити споживачів та інвесторів, перетинати кордони між ринками різних країн. Вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику і ринково успішними стають лише 10% - 20% проектів. Як казав один зі спікерів Olerom Forum One цього року: «Основна задача стартапів – померати». Однак, ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника на початковому етапі його існування є перетворення ідеї у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів. Узагальнено етапи розроблення стартап-проекту можна подати таким чином.

4.1. Етапи розробки стартап-проекту

1. Маркетинговий аналіз стартап-проекту

- розробляється опис самої ідеї проекту та визначаються загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;

- аналізуються ринкові можливості щодо його реалізації;
- на базі аналізу ринкового середовища розробляється стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

2. Організація стартуп-проекту

- складається календарний план-графік реалізації стартуп-проекту;
- розраховується потреба в основних засобах та нематеріальних активах;
- визначається плановий обсяг виробництва потенційного товару, на основі чого формулюється потреба у матеріальних ресурсах та персоналі;
- розраховуються загальні початкові витрати на запуск проекту та планові загальногосподарські витрати, необхідні для реалізації проекту.

3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту

- визначається обсяг інвестиційних витрат;
- розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);
- визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

4. Заходи з комерціалізації проекту

Цей етап спрямовано на пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції (оферти). Він передбачає:

- визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
- складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
- планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;

- планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту. Проте фахівці зі створення та розвитку стартап-проектів окремо відзначають, що відсутність маркетингових знань та умінь, що уможлиблюють розробку ринково затребуваного проекту із вихідної ідеї, є основною причиною високого рівня банкрутств стартап-компаній, і ця проблема може бути вирішена за рахунок навчання винахідників. Відповідно, основним призначенням даних Методичних рекомендацій є надання студентам знань щодо суті, основних принципів розроблення стратегії ринкового впровадження та маркетингового управління інноваційними стартап-проектами у промислових галузях економіки, використання ефективних маркетингових інструментів просування високотехнологічних продуктів виробництва та послуг.

4.2.Опис ідеї проекту

В табл. 4.1. наведено опис ідеї стартап-проекту.

Таблиця 4.1.

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Енергоефективна система прогнозування і керування електроспоживанням локального об'єкту, що використовує дискретне вейвлет-перетворення Хаара.	1. Побут;	Економія електроенергії, особливо корисно для тих, хто виробляє з власних розподілених джерел генерації;
	2. Промисловість	Економія електроенергії за вартісним критерієм;
	3. Наукові дослідження;	Дослідження формування попиту на електроенергію;

Табл. 4.2 показує визначені у проекті сильні, слабкі та нейтральні характеристики.

Таблиця 4.2.

№ п/п	Техніко- економічні характеристи ки ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкуре нт1	Конкуре нт2	Конку рент3			
1.	Система прогнозування електроспоживання	Використання вейвлет-перетворення Хаара	Використання нейронної мережі без керування	Використання нейронної мережі	Використання інших алгоритмів прогнозування		+	
2.	Система керування електроспоживанням	керування живленням (додаткові акб)	відсутня	керуванням споживачами	відсутня			+

4.3. Технологічний аудит ідеї проекту

Табл. 4.3. демонструє технологічну здійсненність ідеї проекту.

Таблиця 4.4.

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Прогнозування на основі обробки даних Вейвлет-перетворенням Хаара	Розробка, дослідження, програмування;	Наявна	Доступна
2	Керування на основі результату прогнозу	Розробка, дослідження, програмування;	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: самостійна розробка на основі дослідження				

4.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В табл. 4.4. наведено попередню характеристику потенційного ринку стартап проекту.

Таблиця 4.5.

<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
Відмова від ієрархічної моделі електромереж та традиційних джерел генерації електроенергії, перехід на розподілену генерацію з відновних джерел енергії;	Локальні об'єкти будь-якого розміру, мікромережі, SmartGrids;	Різниця в обсязі електроенергії, яка споживається;	- до продукції: Точність; Надійність; Дешевизна; Якість; - до компанії-постачальника: Точність; Брендинг та відомість; Гарантійність;

Фактори загроз для стартапу представлені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5.

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Конкуренція	Складність персоналізації інформації; Демпінг;	Зробити упор на надійність та розробити допоміжні системи захисту персональної інформації;
2	Зберігання інформації		

У табл. 4.6 відображені характеристики потенційних клієнтів. стартап-проекту.

Таблиця 4.6.

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	20
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	500
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутність масового виробника
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25

Фактори можливостей в табл. 4.7.

Таблиця 4.6.

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Достовірність і надійність прогнозування	Переваги при створенні прогнозу і керуванні	Зроблений упор на маркетинг та рекламу у цих напрямках для рекомендації себе, як компанії, на ринку;
2	Безпомилковість в керуванні		

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку у табл. 4.8.

Таблиця 4.7.

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції: чиста	В кого краще - в того купують	Покращення товару та сфери обслуговування
2. За рівнем конкурентної боротьби: глобальна	Ринку збуту в багатьох галузях;	Розширення функціоналу та орієнтації користувачів
3. За галузевою ознакою: міжгалузева	Притаманна різним галузям застосування;	Розширення функціоналу та галузей застосування
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова та товарно-видова	Належить до систем що підвищують енергоефективність;	Розширення функціоналу пристрою
5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Чим дешевше – тим привабливіше; Чим краще – тим рентабельніше;	Покращення цінової політики та якості товару
6. За інтенсивністю: не марочна	Не жорстка конкуренція	Агресивні та не агресивні форми піару

У табл. 4.9. результати SWOT-аналізу стартап-проекту.

Таблиця 4.8.

Сильні сторони: Система збору даних; Можливість прогнозувати, електроспоживання і керувати ним;	Слабкі сторони: Обробка даних; Порівняння даних;
Можливості: Покращення безпомилковості; прогнозу та точності керування;	Загрози: Зберігання інформації; Захист інформації;

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Табл. 4.9. визначає базові стратегії конкурентної поведінки між конкурентами в умовах жорсткої ринкової конкуренції.

Таблиця 4.10

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характерист ики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	З погляду як прогнозування, так і керування - ні, з погляду поєднання обох функцій та алгоритму що використовується – так;	Буде шукати нових, розширяючи функціонал і потенціал продукту, а також існуючі клієнти у конкурентів самовільно будуть використовувати більш кращий продукт	Ні, не буде, так як це зменшить клієнтську базу	Помірна, місцями агресивна

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару можна побачити в табл. 4.11.

Таблиця 4.11

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Зменшувати споживання електроенергії, яка вироблена з джерел розподіленої генерації	Зменшення споживання електроенергії, можливість не встановлювати додаткові потужності генерації	Створення надійного бренду; Постійний розвиток та апгрейд системи та компанії у всіх напрямках; Дотримуватися схеми ціна – якість;

Межі встановлення ціни показані в табл. 4.12.

Таблиця 4.12.

<i>№ n/n</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
	130-150% від ціни нашого продукту	150-170% від ціни нашого продукту	20000 - 100000 грн зі 100 проданих од.	2000/3500 грн

В табл. 4.13. відображено процес формування системи збуту.

Таблиця 4.13.

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Задоволення потреб у скороченні споживання електроенергії та підвищенні енергоефективності свого житла або локального об'єкту;	Збут товару та задоволення запитуваних потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Власна
2		Збут та реклама товару та задоволення запитуваних потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Залучена

Висновки до четвертого розділу

Згідно проведеного аналізу, розроблений проект має можливість ринкової комерціалізації. Зростання попиту на аналогічні товари додає масовості придбання подібних систем, але створює жорсткі конкурентні умови виходу на ринок, де динаміка ринку доволі сприятлива до розроблюваного проекту.

Проект має високі перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, якими виступають підприємства, державні установи, локальні об'єкти будь-якого типу та рядові користувачі. Бар'єрами входження на ринок можуть бути відсутності масового виробника, сильний конкурентний тиск з боку великих фірм аналогічних продуктів. Але якщо вести агресивну боротьбу в конкурентному середовищі, проект має великі шанси та можливість зарекомендувати бренд, де в подальшому здобудеться місце на ринковій економіці. Подальша імплементація проекту є доцільною та рентабельною.

ВИСНОВКИ

Раціоналізація, скорочення споживання електричної енергії, будь-які заходи по підвищенню енергетичної ефективності є необхідними для забезпечення переходу на повністю відновні джерела живлення до 2050 року. Однією з ключових концепцій є горизонтальна модель енергомереж, в якій окрім електростанцій багато енергії генеруватимуть самі споживачі за допомогою власних потужностей. Це є принцип розподіленої генерації. Оскільки характер енергії, виробленої від поновних джерел досить хаотичний, важко прогнозований і виробляється переважно в денний час, актуальною задачею є розробка систем прогнозування і ефективного керування електроживленням для локальних об'єктів з розподіленою генерацією.

Локальні об'єкти споживають велику частку електроенергії і з кожним роком ця частка зростає, оскільки кількість електротехнічних засобів, якими наповнені ці об'єкти зростає також.

Проведено огляд різних методів реалізації прогнозування енергоспоживання, зокрема визначено дискретне вейвлет-перетворення Хаара як найбільш підходяще.

Створено алгоритм і розроблено принципову схему, план, розраховано номінали необхідних елементів для макету системи прогнозування електроживлення та керування ним. Граничним рівнем розкладання для характеристик, які піддаються вейвлет-перетворенню, визначено 4-й з пороговим значенням коефіцієнту подібності 0,93, але підходящим обрано 2-й рівень. Алгоритм починає виконуватись, коли у файл записано принаймні 8 значень потужності споживання і проводить перетворення завжди при кількості вимірювань, яка є арифметичною прогресією зі знаменником 8. Порівняння характеристик поточної та еталонних характеристик виконується за допомогою знаходження коефіцієнту кореляції. Підходяща обирається за значенням коефіцієнту з побічної діагоналі, максимально наближеного до 1. Саме

прогнозування відбувається на інтервалі від поточного моменту на обраній еталонній характеристиці t_0 до t_1 , де t_1 є випередженням по часу на 8 хвилин.

Досліджено перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, якими виступають підприємства, державні установи, локальні об'єкти будь-якого типу та рядові користувачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Eesc.columbia.edu., «Solar Radiation and the Earth's Energy Balance,» 04 10 2018. Available: <http://www.webcitation.org/6INBEFbUY>.
2. J. Cook, D. Nuccitelli, S. A. Green та M. R. Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature, Environmental Research Letters, 2013.
3. W. R. Anderegg, J. W. Prall, J. Harold та S. H. Schneider, Expert credibility in climate change PNAS, 2010.
4. International Energy Agency, «Emissions data from: Ch 4: Climate change and the energy outlook,» 2009.
5. Global Warming of 1.5 C an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change 2018.
6. Галузі майбутнього, «Розвиток «зеленої» енергетики,» 2018.
7. Ю. С. Петергеря, В. Я. Жуйков, Т. О. Терещенко Інтелектуальні системи забезпечення енергозбереження житлових будинків, Київ: за грантом президента України для обдарованої молоді, 2007.
8. О. Лагуткин та М. Ошурков Проблемы системного описания и исследования параметров электропотребления объектов ценологического типа, Энергоинформ., т. №21(41)., с. 8., 1999.

9. С. Обухов та Л. А.В., «Методы управления группой рассредоточенных объектов силовой электроники,» Электричество., pp. №2. – С.42-45., 1999.
10. «Розумний будинок – система домашньої автоматизації VS розумні гаджети,» [Онлайновий]. Available: <http://vidpoviday.com/rozumnij-budinok-sistema-domashnoyi-avtomatizaciyi-vs-rozumni-gadzheti>.
11. А. Шидловський, «Проблеми стабілізації та подальшого розвитку електроенергетичного комплексу та електротехніки як його технологічної складової,» в Технічна електродинаміка, т. тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки”, 2000, pp. С.3-8..
12. А. Шидловський та Г. Федоренко, «Макроекономічні та електротехнічні тренди в електроенергетиці України,» в Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки”, 2002., pp. С.3-12..
13. В. Ходаков, В. Шерсток, К. Степанский та А. Дидак, «Методы оценки степени противоречивости знаний с помощью,» Радиоэлектроника и информатика, pp. С.129-132., 1998.
14. А. Апаров, «Маломощные автономные электроустановки,» в Электричество., 2001., pp. С.49-57..
15. Ю. Якименко, Є. Сокол, В. Жуйков, Ю. Петергеря та О. Іванін, «Відновлювальні джерела енергії у локальних об’єктах,» в ІВЦ „Політехніка”, 2001..
16. В. Розов, «Построение системы автоматической компенсации внешнего магнитного поля подвижных объектов, содержащих ферромагнитные массы,» в Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки”, 2002., pp. С.9-14..
17. П. Кобрін, «Основні показники графіків електричного навантаження країн Європи,» в Проблеми загальної енергетики, 2002., pp. С.69-70.

18. Віртуальні електростанції сприяють швидшому розвитку альтернативної енергетики, Available: <https://ecotown.com.ua/news/Virtualni-elektrostantsiyi-spryyayut-shvydshomu-rozvytku-alternatyvnoyi-enerhetyky>. [Дата звернення: 06 12 2018].
19. Microgrid, Available: <http://www.controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/microgrid/>. [Дата звернення: 6 12 2018].
20. С. Макаровский, «Выбор структуры генерирующих мощностей в автономной энергосистеме,» Электричество, № 10, pp. 12-18, 2001.
21. ДТЕК Київські електромережі, «Тарифи на електроенергію,» 2018. Available: <http://dtek-kem.com.ua/tarifi>. [Дата звернення: середа жовтень 2018].
22. А. Арбеков, А. Леонтьев та В. Самсонов, «Безъядерная энергетика пилотируемой экспедиции на Марс,» в Известия Академии наук. Энергетика. №4, 2002., pp. С.3-12..
23. В. Барсуков, «Системы безопасности и жизнеобеспечения интеллектуальных объектов,» в Электроника: наука, технология, бизнес №3, 2001, pp. С.36-41..
24. А. Жаркин, В. Возный та В. Бойков, «Математическая модель низковольтной сети с нелинейными нагрузками,» в Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”, 2002, pp. С.117-119..
25. Г. Кохреидзе, Д. Лаошвили, В. Метревели та Д. Самарганишвили, «Компьютерное моделирование и управление электромагнитных переходных режимов в автономных гибридных энергосистемах на базе возобновляемых источников питания,» в Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки” Ч.9, 2002., pp. С.48-52..
26. К. Ogura, S. Chandhaket та О. Koudriavtsev, «Utility-interfaced solar power conditioner with sinewave modulated quasi-resonant soft switching inverter link for residential application,» в Технічна електродинаміка. – Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки” Ч.8, 2002., pp. С.79-82.

27. М. Макаренко, В. Пілінський, М. Родіонова та Ю. Яновські, «Напівпровідникові перетворювачі як джерела кондуктивних завад в телекомунікаційних системах,» в Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки ». Ч.6, 2006., pp. С.121-124..
28. М. Imamura, P. Helm та W. Palz, «Photovoltaic System Technology: A European Handbook,» в Commision of the European Communities., Brussels and Luxembourg: HS Stephens & Assosiates, 1992, p. 566.
29. Р. Стржеleckи, Р. Браницки та М. Гончарова, «Компенсация реактивной мощности и высших гармоник тока сети устройствами активной фильтрации в электротехнических системах с нелинейной нагрузкой,» в Технічна електродинаміка. №5, 1998., pp. С.11-16..
30. В. Жуйков та Н. Л. Тунг, «Параллельный высокочастотный фильтр тока, потребляемого из сети,» в Технічна електродинаміка. - Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки ». Ч.5, 2000, pp. С.17-21..
31. Моніторинг ресурсів на всі випадки! Available: <https://smart-mac.com/uk/>. [Дата звернення: 6 12 2018].
32. Virtual-power-plant. Available: <https://www.psi-energymarkets.de/en/products/virtual-power-plant/>. [Дата звернення: 6 12 2018].
33. D. W. Zipse, «Lightning Protection Methods: An Update and a Discredited System Vindicated,» в IEEE Transaction on Industry Applications Vol. 37, № 2, 2001, pp. 407-414.
34. О. Гоголюк, Розвиток теорії та методів аналізу динамічних режимів, Львів: Міністерство освіти і науки України, Національний університет “Львівська політехніка”, 2018.
35. В. Сомова та Ю. Н. Руденко, «Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике,» Москва:, Изд-во МЭИ, 2000, p. 648.
36. Д. В. Бэнн та Д. Фармер, Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки, Москва: Перевод с английского. Москва : Энергоатомиздат, 1987., p. 200 с..

37. Ю. О. Варецкий, Т. І. Наконечний, М. Д. Федонюк та В. Комар, «Архітектура інтелектуальної системи моніторингу несинусоїдних режимів електричної мережі,» 2010. [Онлайновий]. Available: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/188/464>.
38. Е. Чумаченко та В. Горбатюк, «Алгоритм решения задачи прогнозирования,» Штучний інтелект., № № 2., р. С. 24–31., 2012.
39. J. Yamnenko, T. Tereshchenko, L. Klepach та D. Palii, «Forecasting of electricity consumption in SmartGrid,» в Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, Kremenchuk, 2017.
40. В. Манусов та Е. Бирюков, «Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами,» Известия Томского политехнического университета, т. 309, № 6, р. 153–158., 2006.
41. А. Мороз, Н. Черемисин, В. Черкашина та А. Холод, «Нейро-сетевое моделирование в задачах прогнозирования режимов работы электрических сетей,» Електротехніка і Електромеханіка., № № 1., р. С. 65–68., 2016.
42. И. Доманов та Б. А.И., «Прогнозирование объемов энергопотребления в зависимости от исходной информации,» Вестник ЮУрГУ. Серия “Энергетика”, т. Т. 16., № № 2., р. С. 59–65., 2016.
43. А. М.В., О. Крилов, Л. Прихно та П. Черненко, «Методики і програмні засоби для забезпечення автоматичного та диспетчерського керування електроенергетичними системами,» Праці Ін-ту електродинаміки НАН України., № 26, р. С. 31–38., 2010.
44. Н. Alfares та М. Nazeeruddin, «Electric load forecasting: literature survey and classification of methods,» International Journal of Systems Science, № 33, pp. 23-34, 2002.
45. Е. Almeshaiei та Н. Soltan, «A Methodology for Electric Power Load Forecasting,» Alexandria Engineering Journal, т. Vol. 50., р. P. 137–144., 2011.

46. А. Волошко, Т. Лутчин та О. Кладько, «Короткострокове прогнозування графіків електричних навантажень на основі вейвлет-перетворення» Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, № 6, pp. 35-42, 2012..
47. В. Доманов та А. Билалова, «Анализ прогнозирования энергопотребления с различными информационными базами.,» Известия Самарского научного центра Российской академии наук., т. 16, pp. 535-537, 2014.
48. S. Soliman, Electrical load forecasting: modeling and model construction. Burlington Butterworth-Heinemann, 2016.
49. Н. Синицын, Фильтры Калмана и Пугачева. Учеб. пособие, Москва: Университетская книга. Логос, 2006.
50. Singh, S. Ibraheem та M. Muazzam, «An Overview of Electricity Demand Forecasting Techniques.,» Network and Complex Systems., т. 3, № 3, pp. 38-48, 2013.
51. Ч. П. П. та О. Мартинюк, «Підвищення ефективності короткострокового прогнозування електричного навантаження енергооб'єднання.,» Технічна електродинаміка., № 1, pp. 63-70, 2012.
52. Р. Stakhiv, О. Hoholyuk та Y. Kozak, «Effectiveness Evaluation of Discrete Macromodelling to Forecast Power Consumption of Electric Power Systems Component Elements.,» Computational Problems of Electrical Engineering, т. 1, № 1, pp. 45-48, 2016..
53. О. Hoholyuk, Y. Kozak, Т. Nakonechnyy та Р. Stakhiv, «Macromodeling as an Approach to Short-Term Load Forecasting of Electric Power System Objects.,» Computational Problems of Electrical Engineering, т. 7, № 1, pp. 25-32, 2017.
54. Н. Hippert, С. Pedreira та R. Souza, «Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation.,» IEEE Transactions on Power Systems, т. 16, № 1, pp. 44-55, 2001.

55. Г. Шумилова, Н. Готман та Т. Старцева, Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении, Екатеринбург.: УрО РАН, 2008.
56. Э. Аведьян, «Алгоритмы настройки многослойных нейронных сетей,» Автоматика и телемеханика, № 4, pp. 106-118, 1995..
57. Ю. Ямненко, В. Телега та К. Немчінова, «Використання вейвлет-перетворень,» ElectronCommun, Томи %1 з %2vol. 22, , № №4, 2017.
58. В. О. Геранін, Л. Д. Писаренко та Я. Я. Рушицький, Теорія вейвлетів з елементами фрактального аналізу. Науково-методичне видання, Київ: ВПФ УкрІНТЕІ, 2002.
59. Ю. Дубров, «Информационная „бедность” задач экологического прогнозирования и некоторые пути ее разрешения,» Доповіді НАН України, № 1, pp. 191-197, 2000.
60. С. В. Дубровський та П. П. Кобрін, «Прогнозування графіків електричного навантаження ОЕС України методом суперпозиції графіків річного та добового електроспоживання,» Проблеми загальної енергетики, № 7, pp. 21-24, 2002.
61. А. Н. Яковлев , «Основы вейвлет-преобразования сигналов,» Сайнс пресс, р. 176, 2003.
62. Т. Терещенко, Ю. Петергеря та Н. Колотов, «Математические основы прогнозного управления полупроводниковыми преобразователями,» Технічна електродинаміка, № 3, pp. 67-70, 2006.
63. Б. Миркин, Анализ качественных признаков (математические модели и методы), Москва: Статистика,, 1976.
64. Ю. Петергеря та В. Жуйков, «Принципи побудови інтелектуальних систем керування перетворювачами у локальних об'єктах,» в Зб. праць науково-технічної конференції “Экотехнологии и ресурсосбережение. Энергоэффективность и охрана окружающей среды”., Київ, 2001.

65. V. Zhuikov та J. Petergerya, «Intellectual systems to control energy generation and consumption in local objects,» в Proceeding of 2-nd Conference “Power Electronic Devices Compatibility” PEDC, Zielona Gora, 2001.

66. Б. Миркин та Л. Черный, «Об измерении близости между различными разбиениями множества объектов,» Автоматика и телемеханика, № 5, pp. 120-127, 1970.

ДОДАТКИ

Лістинг програми

```
clear a
clear Point
clear Mean

% створюємо об'єкт arduino
a = arduino('com3', 'Mega2560');
writeDigitalPin(a, 'D38', 0)
writeDigitalPin(a, 'D48', 0)

% Лічильники (закоментувати, якщо файл "межурментс" не стирається)
% time = 1;

% c = 0;

% Головний цикл
while time ~= 12345

% kek = 16+c; % для використання 3го рівня розкладання при такій же
частоті виконувannya алгоритму

% вольтметр, амперметр, потужність
voltage = readVoltage(a, 'A0')*10;
current = voltage/1;
power = voltage*current;

% Виводимо значення в командне вікно у реальному часі
fprintf('Voltage read is: %.2f volts \n', voltage);
fprintf('Current read is: %.2f ampers \n', current);
fprintf('Power read is: %.2f watts \n', power);

% Записуємо значення у файл
fileID = fopen('measurements.txt', 'a');
fprintf(fileID, '%.2f \r\n', power);
fclose(fileID);

% алгоритм. початок
if time == 8
    disp('start algorithm')

% Отримання всіх наявних значень енергоспоживання
fileID = fopen('measurements.txt', 'r');
Meas = fscanf(fileID, '%f');
fclose(fileID);
L = length(Meas);

% Графік у реальному часі
C = 1:L;
h = plot(C, Meas, '-
h', 'MarkerIndices', 1:8:L, 'MarkerEdgeColor', 'r', 'MarkerFaceColor', 'r');
```

```

xlabel('Time');
ylabel('Watts');
title('Power Consumption');
xlim auto;
ylim auto;
xticks auto;
xticklabels auto;
grid on;
xlabel('Time');
ylabel('Watts');
legend('Plot')

% Отримані дані піддаються "Хааруванню" встановленого рівня
% реконструкції, але після того як їх стало не менше ???
%     if L == kek
%         c = c+16;
%         disp('start Haar')
%         [aM,dM] = haart(Meas, 'integer');
%         MeasRec = ihaart(aM,dM,2,'integer');
%         Length = length(MeasRec);

% Графік порівнюється з відповідними періодами всіх еталонних
% характеристик, наявних у БД за допомогою коефіцієнту кореляції

% отримання значення довжини фрагментів еталонних характеристик
Lxrec33 = length(xrec3)-(length(xrec3)-Length);
Lxrec331 = length(xrec31)-(length(xrec31)-Length);
Lxrec332 = length(xrec32)-(length(xrec32)-Length);

% вибір фрагментів еталонних характеристик
xrec33 = xrec3(1:Lxrec33);
xrec331 = xrec31(1:Lxrec331);
xrec332 = xrec32(1:Lxrec332);

% отримання значень коефіцієнтів кореляції
Corr1 = corrcoef(MeasRec,xrec33);
Corr2 = corrcoef(MeasRec,xrec331);
Corr3 = corrcoef(MeasRec,xrec332);

aa = Corr1(1,2);
bb = Corr2(1,2);
cc = Corr3(1,2);

% Порівняння коефіцієнтів для визначення найбільш підходящої хар-
ки
% Обирається підходящий еталонний графік, який підійшов за
мінімальним рівнем схожості.
if(aa > bb && aa > cc)
    Profile = xrec3;
elseif(bb > aa && bb > cc)
    Profile = xrec31;
else
    Profile = xrec32;
end

```

```

% На цьому графіку аналізується фрагмент на 5 хвилин у майбутнє.
Profile_length = length(Profile)-(length(Profile)-Length);
Profile_ext = Profile(1:(Profile_length+8));
Profile_nonext = Profile(1:(Profile_length));

Interval_long = length(Profile_ext);
Interval_short = length(Profile_nonext);
Interval = Profile(Interval_short:Interval_long);
Interval_ext = Profile(Profile_length:Interval_long);

Point = Profile(Interval_short:Profile_length);

Mean = mean(Interval_ext); % Середнє значення споживаної
% потужності за наступні 5 вимірів

if power ~= 0
    if Point < Mean % Якщо очікується пік
        writeDigitalPin(a, 'D38', 1);
        Pin38_status = 1;
        disp('Battery 2 is on')
        writeDigitalPin(a, 'D48', 1);
        Pin48_status = 1;
        disp('Battery 3 is on')

        elseif Point > Mean && Pin38_status == 1 % Якщо очікується
спад і батарея була підключена перед цим
            disp('Battery 2 is off')
            writeDigitalPin(a, 'D38', 0);
            Pin48_status = 0;
            disp('Battery 2 is off')
            writeDigitalPin(a, 'D48', 0);

        else % Якщо очікується спад
            disp('nothing happens')
        end
    end
end

time = 0;
end

% інкремент лічильника. період циклу = 1 секунда
time = time + 1;
pause(1);
end

```

ABSTRACT

Topicality. The beginning of the second millennium was marked for mankind by the emergence of evidence that global warming is not a fabrication of scientists and "evil tongues," but an obvious fact. In August 2018, all residents of Kyiv, as well as residents of Chernigov and Lviv, were able to experience the consequences of genuine tropical rain that had never before been typical of our lands.

As is known, global warming, namely the increase in the average temperature above the surface of the earth, which has already comprised, according to various data, from 0.5 to 1 degree Celsius since the beginning of the industrial era, is due to an increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere. By itself, the greenhouse effect is a very useful thing, since without it the temperature of the Earth's surface would be on average 33 degrees lower and was -18°C [1] and life would hardly exist in the form that we know it. However, human activity significantly affects the natural state of things and brings them out of balance [2] [3].

Anti-rating of major producers of greenhouse gases [4]:

- Carbon power generation - 25%;
- agriculture, forestry and other land use - 24%;
- industry - 21%;
- transport - 14%;
- construction - 6.4%;
- the rest - 9,6%.

In total - 30,000 tons of CO_2 every minute without other gases.

On October 8, leading scientists from the world presented a report [5] in South Korea, according to which humankind is now on a trajectory of 3 - 4 $^{\circ}\text{C}$ by 2050, therefore, it is necessary to significantly intensify the development and implementation of a set of measures for the conservation of global warming at the level of 1,5 $^{\circ}\text{C}$ at the state levels of all governments. Otherwise, the number of climatic refugees will already be 400 million in 2030 [5] and significant land areas will be flooded and the climate on the planet will change completely.

The most promising measures, in particular, are:

- Complete abandonment of fossil carbon fuels other than gas, which will be used in minimum quantities at balancing power plants and the transition to renewable energy and environmentally friendly modes of transport.

- The introduction of a circular economy and zero waste, according to which after-consumption goods will be recycled multiple times, which will reduce overall emissions from industry and refuse from landfill. A departure from the consumer paradigm as such.

- Minimization of deforestation and their restoration.

- Systems that capture emissions from enterprises and split CO₂.

- Absorption of carbon dioxide from the atmosphere by fermentation of algae, the cultivation of technical hemp, etc.

- Transition to environmental construction methods.

- Reducing the number of animals on farms and pastures.

As of the beginning of 2018, world power of renewable energy sources exceeded 1 TW. It cost \$ 2.3 trillion in investment. The growth rates of new facilities are increasing by 20-30% annually and by 2017 amounted to 51 GW [6].

However, the nature of the energy produced from renewable sources is rather chaotic and difficult to predict. In daytime, output can be much higher than demand, and at night generation is virtually stopped, because the lack of solar radiation affects not only obviously on the SES, but also on winds that are generated by the difference in air temperatures near the surface of the earth or the water heated by the sun and at an altitude. Therefore, for the efficient functioning of the electricity grids with a complete transition to the recovery of the generation source, a sufficient number of energy storage facilities and their rational use are needed. This, in turn, can be achieved by reducing overall consumption and managing it effectively. This is what determines the relevance of the presented research.

Connection of work to scientific programs, plans, themes. The research on the theme of the master's dissertation was conducted in accordance with the scientific directions of the Department of PE KPI named after Igor Sikorsky.

The purpose and tasks of the research. Creation of a system in which the forecasting algorithm functions and on its basis the power supply control of the local object with distributed generation sources is executed.

Specific research objectives are:

1. Review and comparison of methods for forecasting the local object electricity consumption;
2. Choosing a control method and developing an algorithm for a microcontroller;
3. Development of a layout diagram.

The object of research is the processes of generation and consumption of electric energy in a local object.

The subject of the research is the development of a method for forecasting the consumption of electric energy.

Research methods.

- Discrete wavelet Haar transform;
- Hardware implementation based on Arduino Mega microcontroller;
- MatLab environment and extension package to work with Arduino MK;
- Fritzing program for simulating electrical circuits;

The scientific novelty of the results obtained is to use the Haar discrete wavelet transform to predict the consumption of electric energy and power management based on this forecast.

The practical value of the results. The study has a practical value, its results can be used in the development of similar systems for their further use in everyday life and industry, on any types of local objects to reduce electricity consumption.

Approval of research results. The results of the dissertation research were reported and discussed at the XIV International Conference "Control and Management in Complex Systems (CUSS-2018)", Vinnytsia, October 15-17, 2018, III International Scientific and Technical Conference "SMART-TECHNOLOGIES IN POWER AND ELECTRONICS- 2018 », village Azure, Skadovsky district, Kherson region. August 21 - 25, 2018, All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Modern Technologies of Modern Society" (NTSC-2018); Chernihiv, December 12, 2018, and at the GreenCamp 2018 Lecture, TeslaCamp 2018, the CircctEconomyHackathon 2018 Hackathons, ElephantHackacon 2018.

Publications 1. Semenyuk A.O., Skrypnik D.V. Features of working with data in the diagnostic system of the technical state of the mechanism of rotation of the crystallizer // Uchenye zapiski TNU im. VI Vernadsky Series: technical science. 2018, No. 29 (68) (5). Pp. 122 - 124. URL: http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/5_2018/part_3/25.pdf

2. Didenko V.O. Algorithm for data processing from sensors in the system of diagnostics of the technical state of the mechanism of the crystallization oscillation [Electronic resource] / V.O. Didenko, O.F. Bondarenko, A.O. Semenyuk // Materials of the XIV International Conference "Control and control of complex systems (CUSS-2018) ", Vinnytsya, October 15-17, 2018 - Electron. text data - Vinnitsa: VNTU, 2018. - Mode of access: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22770>.

3. Semenyuk A.O., Kramarenko S.V. Layout of the power supply control system of a local object with distributed sources / Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Advanced Technologies of a Modern Society" (NTSC-2018); Chernihiv December 12, 2018, p. 85-87. Structure and volume of the dissertation.

The dissertation consists of an introduction, four sections, conclusions, list of used sources from 66 names and applications. The total volume of dissertation work is 97 pages, including 82 pages of main text, 25 drawings and 15 tables